

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Optimización de un colector solar térmico de aire para
mejorar el confort térmico en viviendas alto andinas de
la región Junín**

Rony Lázaro Chambergo
Ruth Celia Sacha Huamanyalli
Maribel Zapana Mamani

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de investigación ha sido un constante proceso de aprendizaje que, habría sido imposible culminarse de no contar con el apoyo de instituciones y personas, a quienes deseamos expresarles nuestra mayor gratitud, por lo cual quisiéramos empezar agradeciendo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por la data para obtener la temperatura media anual del aire en el valle del Mantaro.

De igual forma, a nuestro asesor de tesis Ing. Jacinto Venancio Arroyo Aliaga por la orientación y revisión permanente del presente trabajo depositando su absoluta confianza en el equipo de trabajo y transmitiéndonos su conocimiento en cada fase de la elaboración de la investigación, asimismo por facilitarnos equipos de medición de radiación solar y temperatura en el ambiente de investigación del presente proyecto.

Finalmente, agradecer a la Empresa Constructora CHAC PERÚ E.I.R.L., a su representante Ing. Kenedy A. Chambergo Cerrón y todo su personal por su asesoría y apoyo permanente durante la construcción del colector solar térmico de aire.

DEDICATORIA

A mis padres Félix y Maritza, mi esposa Verónica e hijos Andrea Lucía y Franco Sebastián que en todo momento se sumaron al esfuerzo y alentaron el logro de mis objetivos.

Rony

A mis padres Fernando y Celestina por el esfuerzo dado y por mostrarme día a día el camino hacia la superación; a Jim, Nilton y Araceli por estar siempre para mí. Esto es posible gracias a ustedes.

Ruth

A mi madre quien en vida fue Justa Mamani por su valentía de perseguir sueños y a mi padre Bernardo Zapana por el amor brindado y apoyo incondicional.

Maribel

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	3
1.1 Planteamiento y formulación del problema	3
1.1.1 Planteamiento del problema	3
1.1.2 Formulación del problema	9
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo general	9
1.2.2 Objetivos específicos	10
1.3 Justificación e importancia	10
1.3.1. Energética	10
1.3.2. Climatológica	11
1.3.3. Científica y tecnológica	12
1.3.4. Ambiental	13
1.3.5. Económica	13
1.3.6. Social y cultural	14
CAPÍTULO II	15
MARCO TEÓRICO	15
2.1 Antecedentes del problema.	15
2.2 Bases Teóricas	19
2.2.1. Panorama energético mundial	19
2.2.2. Panorama energético nacional	21
2.2.3. Energías renovables	23
2.2.4. Energía solar	23

2.2.5.	El Sol.....	24
2.2.6.	Radiación solar	24
2.2.7.	Proporciones de radiación.....	25
2.2.8.	Leyes fundamentales	25
2.2.9.	Aplicaciones	26
	2.2.9.1. Energía fotovoltaica	26
	2.2.9.2. Energía solar térmica.....	26
2.2.10.	Calor	26
	2.2.10.1. Mecanismos de transferencia de calor	26
2.2.11.	Propiedades importantes de los materiales en la transmisión de calor	27
	2.2.11.1. Conductividad térmica	27
	2.2.11.2. Valores típicos de conductividad térmica	29
	2.2.11.3. Calor específico	29
2.2.12.	Energía solar térmica.....	29
	2.2.12.1. Sistema de captación solar.....	30
	2.2.12.2. Clasificación de instalaciones solares.....	30
2.2.13.	Tipos de sistemas	31
	2.2.13.1. Sistemas pasivos.....	31
	2.2.13.2. Sistemas activos.....	32
2.2.14.	Colector solar térmico de aire.....	32
	2.2.14.1. Tipo no poroso	32
	2.2.14.2. Tipo poroso.....	35
2.2.15.	Radiación en el colector	36
2.2.16.	Efecto invernadero en un colector	38
2.2.17.	Aislante térmico en el colector	38
2.2.18.	Fundamentos de calefacción.....	39
	2.2.18.1. Carga térmica.....	39
	2.2.18.2. Cálculos	40
	2.2.18.3. Cantidad de calor a suministrar por pérdidas por transmisión a través de cerramientos	41
	2.2.18.4. Cantidad de calor a suministrar por pérdidas por ventilación y por infiltración.....	41

2.2.18.5. Cantidad de calor a suministrar por pérdidas por cargas térmicas suplementarias.....	42
2.2.19. Confort térmico	42
2.2.19.1. Condiciones básicas para el confort térmico	42
2.2.19.2. Balance corporal.....	43
2.2.19.3. Variables ambientales	43
2.2.20. Desempeño térmico de las viviendas	43
2.2.21. Estratificación del calor.....	44
2.3 Definición de términos básicos.....	44
2.3.1. Energías renovables:.....	44
2.3.2. Energía SOLAR:.....	44
2.3.3. Radiación solar:.....	44
2.3.4. Calor:.....	45
2.3.5. Energía solar térmica:.....	45
2.3.6. Colector solar:.....	45
2.3.7. Carga térmica:	45
2.3.8. Confort térmico:	45
2.3.9. Flujo de calor:.....	45
2.3.10. Optimización:	45
CAPÍTULO III	46
METODOLOGÍA	46
3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....	46
3.1.1 Tipo de investigación.....	46
3.1.2 Nivel de investigación.....	47
3.1.3 Metodología de diseño	47
3.1.4 Método de optimización.....	64
3.1.5 Propuesta del diseño de prototipo tecnológico	84
CAPÍTULO IV	86
ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	86
4.1. Ubicación geográfica del ambiente de investigación	86
4.2. Descripción de la vivienda de investigación	87
4.3. Plan operativo.....	87

4.4.	Plan económico.....	90
4.4.1.	Mantenimiento del colector solar	92
4.5.	Diseño.....	92
4.5.1.	Prototipo modelado.....	92
4.5.2.	Prototipo físico	96
CAPÍTULO V		98
CONSTRUCCIÓN		98
5.1.	Construcción.....	98
5.2.	Pruebas y resultados.....	100
5.2.1.	Calefacción de un ambiente doméstico.....	100
5.2.2.	Balance de energía del ambiente	103
5.2.3.	Cálculo del calor generado por el colector ($Q_{G, col}$)	104
5.2.4.	Cálculo de la energía útil de calentamiento del aire ($Q_{\text{Útil, calefacción}}$)	104
5.2.5.	Cálculo de las pérdidas de calor por transmisión o transferencia al exterior	105
5.2.6.	Cálculo de pérdida de energía por renovación de aire ($Q_{p, re}$)	108
5.2.7.	Cálculo del calor perdido por infiltración.....	109
5.2.8.	Análisis de la ganancia de energía (Q_{entrada})	109
5.2.9.	Análisis de las pérdidas de energía (Q_{salida})	110
5.2.10.	Balance de materia y energía	110
5.2.11.	Análisis de acumulación de energía ($\Delta E_{\text{ambiente}}$)	110
5.2.12.	Energía necesaria para alcanzar la temperatura de confort en el ambiente doméstico	112
5.3.	Discusión de resultados.....	114
5.3.1.	Sistema de hipótesis estadística.....	114
5.3.2.	Discusión de resultados	116
CONCLUSIONES		118
RECOMENDACIONES		120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		121
ANEXOS		128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Junín bajas temperaturas - Diario la República.....	4
Figura 2: Mapa de frecuencia de heladas - mes de julio (1984-2009).....	5
Figura 3: Mapa de temperaturas mínimas percentil 10 - Período de mayo a julio (1981-20109).	6
Figura 4: Mapa de energía solar incidente diaria promedio anual (1975-1990).....	11
Figura 5: Promedios multianuales de temperaturas máximas y mínimas - período 1958-1996.	12
Figura 6: Promedio anual de adiciones de capacidad por tipo	20
Figura 7: Valores típicos de conductividad térmica.....	29
Figura 8: Muro Trombe	31
Figura 9: Muro Parietodinámico	32
Figura 10: Colector no poroso de una sola exposición.	33
Figura 11: Colector no poroso de doble exposición.....	34
Figura 12: Colector no poroso de dos pasos.	34
Figura 13: Colector no poroso invertido.....	35
Figura 14: Colector poroso con placas de cristal solapadas.	36
Figura 15: Colector poroso con absorbedor en forma de panel.	36
Figura 16: Fracciones de radiación en el colector.....	37
Figura 17: Fracciones de radiación en vidrio común.	37
Figura 18: Fracciones de radiación en vidrio antireflectivo.....	38
Figura 19: Pérdidas de calor por cerramientos.....	40
Figura 20: Condiciones para el confort térmico.	43
Figura 21: Factores que influyen en el comportamiento térmico de las viviendas.....	44
Figura 22: Diseño según la Norma VDI 2221	50
Figura 23: Caja Negra.....	53
Figura 24: Estructura de funciones generales	54
Figura 25: Concepto de solución 1	59
Figura 26: Concepto de solución 2	60
Figura 27: Concepto de solución 3	61
Figura 28: Evaluación final de los conceptos de solución.....	63
Figura 29: Pasos del método TOPSIS (60)	65
Figura 30: Media de pesos AHP	78
Figura 31: Distribución de pesos por usuario AHP.....	79
Figura 32: Diferencia entre el peso máximo y mínimo por método	80
Figura 33: Perfiles de los pesos según métodos de cálculo.....	80
Figura 34: Vista de perfil del acero corrugado del sistema de colector solar térmico de aire...	84
Figura 35: Sistema de funcionamiento del sistema de colector solar térmico de aire.....	84
Figura 36: Flujo de aire en el sistema de colector térmico solar.....	85
Figura 37: Ubicación Nacional y Regional del ambiente de investigación.	86
Figura 38: Ubicación Provincial geográfica del ambiente de investigación.	87
Figura 39: Diagrama de flujo del proceso de construcción del colector térmico solar de aire.	89

Figura 40: Prototipo modelado	92
Figura 41: Partes del prototipo modelado.	93
Figura 42: Medidas del prototipo.....	93
Figura 43: Medidas de la placa metálica.	94
Figura 44: Medidas del marco anterior.	94
Figura 45: Medidas de las placas vidrio.....	95
Figura 46: Dimensiones de planta Arquitectónica del ambiente de investigación.	95
Figura 47: Vista de elevación principal y lateral del ambiente de investigación.....	96
Figura 48: Vista del colector solar térmico de aire.	96
Figura 50: Vista inferior del colector solar térmico de aire.....	97
Figura 51: Plano tridimensional del ambiente doméstico.....	102
Figura 52: Ambiente doméstico: subsistema y variables.	103
Figura 53: Diagrama de cajas.....	114
Figura 54: Comparación de temperatura interna habitación experimental y control	116
Figura 55: Histograma de la radiación solar durante el tiempo experimental.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Lista de exigencias	51
Tabla 2: Matriz morfológica.....	55
Tabla 3: Consideraciones sobre los portadores de solución.....	56
Tabla 4: Análisis de Alternativas	62
Tabla 5: Valor económico.....	63
Tabla 6: Evaluación de los conceptos de solución.....	63
Tabla 7: Matriz de decisión TOPSIS	66
Tabla 8: Matriz de decisión TOPSIS – Criterios de solución.....	66
Tabla 9: Normalización de la matriz de decisión	67
Tabla 10: Pesos asignados por cada usuario a los distintos criterios.....	67
Tabla 11: Matriz de ponderación 1	68
Tabla 12: Matriz de ponderación 2	68
Tabla 13: Matriz de ponderación 1 - Ordenada	69
Tabla 14: Matriz de ponderación 2 – Ordenada	69
Tabla 15: Valores Saaty para criterios	71
Tabla 16: Comparación de métodos del cuestionario	72
Tabla 17: Matriz de experto 1	73
Tabla 18: Matriz de experto 2.....	73
Tabla 19: Matriz de experto 3.....	74
Tabla 20: Matriz de experto 4	75
Tabla 21: Matriz de experto 5.....	75
Tabla 22: Matriz de experto 6.....	76
Tabla 23: Matriz de experto 7.....	76
Tabla 24: Matriz de experto 8.....	77

Tabla 25: Ponderación AHP	78
Tabla 26: Orden de importancia de criterios según ponderación	79
Tabla 27: Matriz normalizada ponderada	81
Tabla 28: Ideal positivo e ideal negativo por criterio	81
Tabla 29: Distancia de cada criterio de solución al ideal positivo y negativo	82
Tabla 30: Proximidad relativa de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa.....	83
Tabla 31: Clasificación final TOPSIS.....	83
Tabla 32: Procesos de diseño, construcción y operación.....	87
Tabla 33: Costos directos del colector solar térmico de aire.....	90
Tabla 34: Costos de transporte.....	90
Tabla 35: Costos de mano de obra.....	90
Tabla 36: Costos de equipos y herramientas.....	91
Tabla 37: Total de costos directos.....	91
Tabla 38: Costos de ingeniería.....	91
Tabla 39: Costos imprevistos.....	91
Tabla 40: Total de costos indirectos.....	91
Tabla 41: Total de costos de fabricación.....	91
Tabla 42: Mantenimiento del colector.....	92
Tabla 43: Proceso de construcción del colector solar de aire.....	98
Tabla 44: Datos de parámetros físico químicos.....	102
Tabla 45: Coeficientes de transmisión de calor.....	105
Tabla 46: Tabla de pérdidas de carga térmica al exterior.....	107
Tabla 47: Tabla de variación de temperatura del mes de julio.....	111
Tabla 48: Tabla de variación de temperatura del mes de agosto.....	111
Tabla 49: Tabla de promedio de temperatura interna de los meses julio y agosto.....	112
Tabla 50: Tabla de promedio de temperatura interna máxima y mínima.....	112
Tabla 51: Tabla de condiciones.....	112
Tabla 52: Tabla de energía necesaria para alcanzar la temperatura de confort.....	113
Tabla 53: Prueba de normalidad.....	115
Tabla 54: Prueba no paramétrica.....	115

RESUMEN

La presente investigación titulada: “**Optimización de un colector solar térmico de aire para mejorar el confort térmico en viviendas alto andinas de la Región Junín**”, tiene como objetivo general, determinar la influencia de la implementación de un colector solar de aire en el confort térmico en viviendas alto andinas ubicados sobre los 3 200 m.s.n.m. durante la temporada de heladas del año 2019.

Se trata de una investigación según su naturaleza de tipo aplicada, de nivel tecnológico con aplicación del método experimental, tiene como metodología de diseño la VDI 2221 (Verein Deutscher Ingenieure) denominada “Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos”. Así mismo, la metodología empleada para la optimización es el método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) cuyo fin es elegir la alternativa que simultáneamente tienen la distancia más corta de la solución ideal positiva y la distancia más alejada de la solución ideal negativa.

Para el cumplimiento del objetivo, se implementó un colector solar térmico de aire de doble contacto en una habitación ubicada en la Av. Huancavelica N° 2 921 del distrito de El Tambo de la provincia de Huancayo – Junín a una altura de 3 257 msnm el año 2019.

Entre los criterios considerados luego de la implementación, fue la determinación de la cantidad de energía calorífica necesaria para alcanzar la temperatura de confort en el ambiente de investigación. Así mismo, se calculó el flujo de calor para encontrar el tiempo necesario para alcanzar la temperatura mínima de confort y finalmente se identificó los elementos de control para optimizar la eficiencia térmica del colector en el ambiente de investigación.

Como conclusión de la investigación se tiene que, la energía calorífica transferida al ambiente permitió alcanzar una temperatura de confort térmico de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones llegando a rangos de temperatura entre 17°C y 22 °C en el ambiente doméstico de investigación registrando una variación térmica de 5°C y teniendo como promedio de 20 °C.

PALABRAS CLAVES: Optimización, colector solar de aire, Confort térmico.

ABSTRACT

The present research entitled: **“Optimization of a solar thermal air collector to improve thermal comfort in high Andean homes in the Junín Region”**, has the general objective of determining the influence of the implementation of a solar air collector on thermal comfort in high Andean homes located above 3,200 meters above sea level during the frost season of the year 2019.

It is an investigation according to its nature of an applied type, at a technological level with application of the experimental method, has as its design methodology the VDI 2221 (Verein Deutscher Ingenieure) called “Systematic approach for the design of technical systems and products”. Likewise, the methodology used for optimization is the TOPSIS method (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) whose purpose is to choose the alternative that simultaneously have the shortest distance from the positive ideal solution and the furthest distance from the solution. negative ideal.

To meet the objective, a double-contact solar thermal air collector was implemented in a room located on Av. Huancavelica No. 2 921 in the El Tambo district of the province of Huancayo - Junín at a height of 3,257 meters above sea level on year 2019.

Among the criteria considered after implementation, was the determination of the amount of heat energy necessary to reach the comfort temperature in the research environment. Likewise, the heat flow was calculated to find the time necessary to reach the minimum comfort temperature and finally the control elements were identified to optimize the collector's thermal efficiency in the research environment.

As a conclusion of the investigation, it is had that the heat energy transferred to the environment allowed to reach a temperature of thermal comfort according to the National Building Regulations, reaching temperature ranges between 17 ° C and 22 ° C in the domestic research environment, registering a thermal variation of 5 ° C and having an average of 20 ° C.

KEY WORDS: Optimization, solar air collector, thermal comfort.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación titulada: “Optimización de un colector solar térmico de aire para mejorar el confort térmico en viviendas alto andinas de la Región Junín” partió del siguiente problema ¿Cómo influye la implementación de un colector solar de aire en el confort térmico en viviendas alto andinas ubicados sobre los 3 200 m.s.n.m. durante la temporada de heladas del año 2019?

Por ello, la aplicación de la investigación fue desarrollada durante la temporada de heladas en los meses de julio y agosto del año 2019, fue necesario conocer las zonas vulnerables de nuestro país, afectadas por las heladas teniendo como constante las zonas que superan los 3000 m.s.n.m. Así mismo, fue importante el estudio de la energía en sus diferentes formas y el tipo de aplicación, ya que hoy en día es importante generar acciones que favorecen el cuidado del medio ambiente y como una alternativa surge el uso de la energía solar como fuente renovable en la implementación de colectores solares térmicos. En tal sentido se plantea como objetivo general: Determinar la influencia de la implementación de un colector solar de aire en el confort térmico en viviendas alto andinas ubicados sobre los 3 200 m.s.n.m. durante la temporada de heladas del año 2019.

La importancia del trabajo radica en presentar un prototipo que brinde una mayor eficiencia respecto a sus pares que sea amigable con el medio ambiente, logrando así brindar un confort térmico en un menor tiempo, manteniendo la temperatura por un mayor periodo en la habitación experimental, asimismo, un bajo costo de mantenimiento y operación.

Bajo estas consideraciones se logró implementar una metodología apropiada para el diseño y otra para la optimización que guarden relación en el aspecto ambiental, social, económico y técnico.

Asimismo, es un estudio de tipo aplicada del nivel tecnológico y está organizada en cinco capítulos; en el capítulo I se desarrolla el planteamiento del estudio, donde se considera el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación del estudio; en el capítulo II se consigna los antecedentes y las bases teóricas, con el fin de respaldar y otorgar el carácter científico a la investigación; el capítulo III describe y sustenta la ejecución de la metodología de la investigación, la metodología de diseño y la metodología de la optimización; en el capítulo IV se establece el análisis y diseño de la solución; el capítulo V considera el proceso de construcción, las pruebas y resultados de la implementación del colector solar. Finalmente, se presenta las conclusiones, discusión de los resultados, recomendaciones; las referencias bibliográficas y como complemento los anexos.

Los resultados obtenidos sirven para los interesados y actores involucrados con la armonía del medio ambiente.

LOS INVESTIGADORES

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

El Perú, cada año, enfrenta un fenómeno meteorológico que no ha podido responder con éxito, las heladas en las zonas alto andinas es una constante a nivel nacional ya que regiones como Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Ica, Junín, Lima, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna constantemente soportan temperaturas de hasta 10 grados bajo cero como reporta el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú más aún aquellas zonas ubicadas sobre los 3000 m.s.n.m.

La figura 1 describe gráficamente la inclemencia del tiempo principalmente en temporadas de heladas, esto debido a que las zonas alto andinas del Perú poseen similares características de presentar temperaturas bajas y corriente de aire fríos generando problemas en la salud de la población, los animales y la agricultura(1).



Figura 1: Junín bajas temperaturas - Diario la República.
Fuente: Diario La República (1)

A nivel nacional, existen muchas zonas vulnerables y frecuentemente afectadas por la ola de friaje y heladas teniendo como constante las zonas que superan los 3 000 m.s.n.m y en mayor proporción las zonas de la sierra central.

Según las estadísticas el Ministerio de Salud (MINSA), cada año incrementa el número de fallecidos por neumonía, producto de las bajas temperaturas. De estas muertes, un gran número corresponden a adultos mayores y a niños menores de cinco años.

La figura 2, tomado de CENEPRED, permite identificar de manera general los niveles de susceptibilidad a la ocurrencia de heladas, correspondiente al mes de julio en el periodo promedio 1984 – 2009, que representa la distribución de los días de heladas con temperatura mínima de 0°C en el ámbito nacional (1).



Figura 2: Mapa de frecuencia de heladas - mes de julio (1984-2009).
 Fuente: CENEPRED con información del SENAMHI (2)

La figura 3 nos muestra la distribución del rango de temperaturas en el ámbito nacional, con los valores que catalogan a esta como “severa” durante la temporada de frío (1).

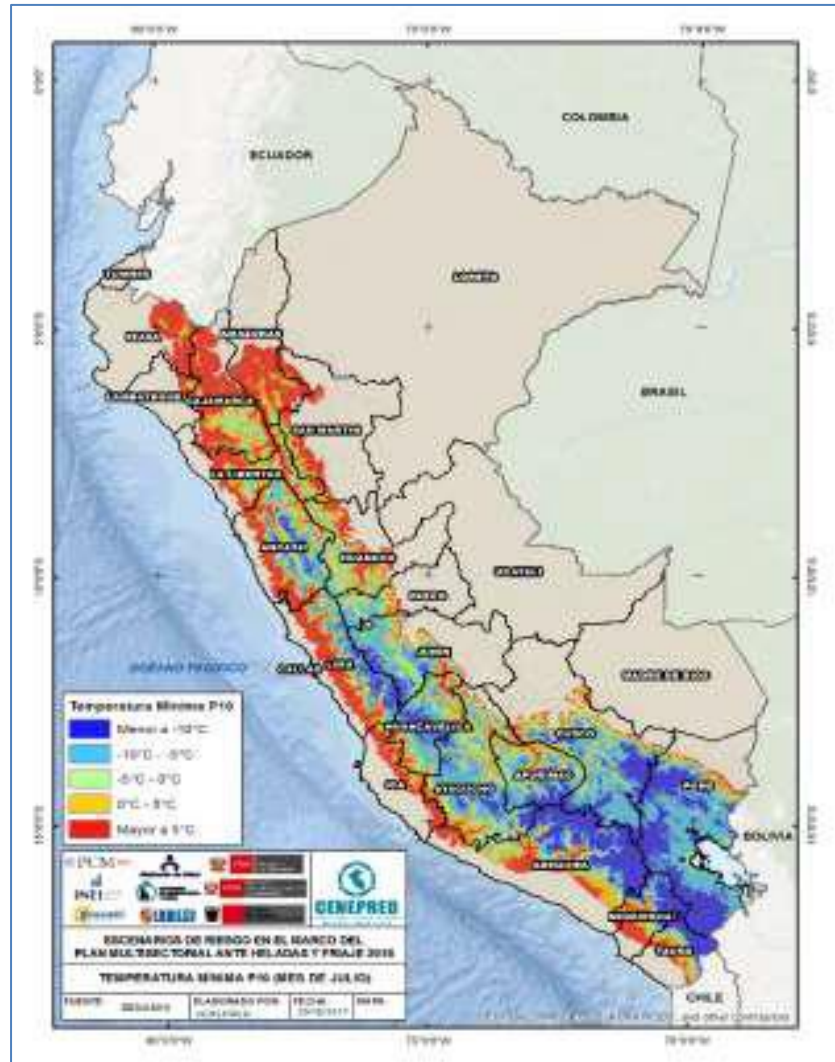


Figura 3: Mapa de temperaturas mínimas percentil 10 - Período de mayo a julio (1981-2010).

Fuente: CENEPRED con información del SENAMHI (2)

Otra problemática en nuestra realidad, más aún en nuestra región y el país es la escasa difusión de las aplicaciones tecnológicas para resolver problemas ambientales y sociales, aquellos que año tras año se vienen presentando por un fenómeno meteorológico como las heladas, todo esto debido a la poca o casi nula utilización de la energía solar en nuestra localidad, por falta de conocimientos técnicos entre otros. En la actualidad, se sigue empleando fuentes de energía que provienen de la combustión de hidrocarburos y la energía convencional para realizar diferentes operaciones y procesos: como es el caso de calentar agua, calefaccionar, iluminar ambientes, generar energía eléctrica, entre otros; ocasionando efectos en el desequilibrio ecológico y la contaminación

ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero acompañado por un gasto energético y económico innecesario. En casos como la calefacción y el calentamiento de agua se requiere de energía, es decir elevar la temperatura de agua y del aire, por lo que esto conlleva a interrogantes como: ¿Cuánta energía se necesita?, ¿Cuál será la fuente principal de energía?, ¿A cuánto asciende los costos de operación?, ¿En qué magnitud será rentable?, entre otras preguntas. Muchos ambientes de establecimientos: industriales, hospitalarios, instituciones educativas, bibliotecas y viviendas domésticas, entre otros, requieren un ambiente adecuado en lo que se refiere al confort térmico para realizar sus actividades con la mayor comodidad posible. Muchos establecimientos no consideran los parámetros de confort térmico establecido por las normas del reglamento técnico de edificaciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, por lo que, cabe la posibilidad de adquirir enfermedades respiratorias agudas más aún en zonas frías.

En nuestro país, solo el 2,7% de la energía proviene de fuentes renovables no convencionales. Una mayor diversificación será imperativa para el 2021, de lo contrario, economía y medio ambiente se dañarían mientras que Chile, Colombia y Ecuador proyectan, para el 2025, el 20% de su matriz energética deberá estar basada en energías renovables no convencionales (eólica, solar, geotérmica, entre otras). En tanto, el Perú mantiene una meta poco ambiciosa para los próximos cinco años: el 5%; un número que, sin embargo, tampoco alcanza. Y es que la producción a través de estas fuentes era de 2,7% a finales del 2017, según la Sociedad Peruana de Energías Renovables (SPR).

Con 68 millones de toneladas de CO₂ producidas anualmente, el Perú se ubica en el puesto 50 entre los 220 países que más emiten estas partículas, según el Global Carbón Atlas. En Sudamérica, Ecuador (66), Bolivia (87), Uruguay (116) y Paraguay (124), se encuentran ubicados en una posición más sana dentro de esta lista(3).

Por otro lado, muchas de las infraestructuras actuales son construidas, en nuestra localidad, sin considerar aspectos que contemplen el cuidado de la salud, sino por la parte estética o el máximo aprovechamiento de los espacios

de construcción; no se considera a la energía solar como alternativa para mejorar las condiciones de confort térmico y la calidad de vida. Existen deficiencias técnicas en la captación de energía solar e implementación de sistemas foto-térmicos o calentadores solares, por no aplicar adecuadamente los principios de los fenómenos de transporte en lo que respecta a la transferencia de calor, termodinámica y mecánica de fluidos como base fundamental. Por tanto, el Ingeniero Ambiental no debe ser ajeno ante esta problemática. Por ello, el presente trabajo de investigación propone generar un prototipo de colector solar en donde se pueda aprovechar la energía calorífica del sol mediante construcción de un dispositivo que permita captar la energía calorífica y distribuirlo por la mayor parte de la vivienda con la finalidad de otorgar un confort térmico velando por la salud de los integrantes más vulnerables de la familia, por lo que implementar un sistema de calefacción de aire aprovechando la energía solar se ve pertinente, ecológico, económico y tecnológico.

La temperatura interna de las viviendas sólo recibe la radiación natural que puede seguir los rayos solares, otro aspecto es el material y el diseño con que cuentan los cuales dificultan una acumulación de energía en el interior que pueda permitir un espacio más agradable para el desarrollo de las actividades domésticas sin riesgo de contraer enfermedades respiratorias por las bajas temperaturas en ambientes donde pasan el mayor tiempo, los más afectados son especialmente niños y ancianos, de esta observación se busca solucionar la deficiencia en el confort térmico.

El ambiente de investigación (casa) no cuenta con un aislamiento adecuado en las paredes, ventanas, techo o piso, por lo que, las pérdidas de calor son aún mayores, estableciendo un equilibrio de temperatura mayor al exterior que al interior. Las condiciones de temperatura interna en la que se encuentra las viviendas en las zonas alto andinas no permiten a los lugareños sentirse en un ambiente agradable y adecuado para realizar sus actividades diarias, más aún los niños y adolescentes en edad escolar. Por tal motivo, es oportuno realizar una investigación experimental aplicada, para mejorar el confort térmico en viviendas alto andinas de la Región Junín en un rango de 18 °C a 22 °C, como lo menciona el reglamento nacional de edificaciones (RNE). Se busca conseguir

estas condiciones con la manipulación del flujo de aire caliente, por tal motivo:
¿Puede un sistema artificial mejorar el confort térmico de un ambiente doméstico en viviendas alto andinas? ¿La radiación solar en la ciudad de Huancayo es suficiente para los sistemas de calefacción infrarroja? ¿Cómo mejoraría la calidad de vida de la población con la mejora del confort térmico?
¿Qué materiales serían necesarios para construir un sistema artificial de calefacción solar?

1.1.2 Formulación del problema

A) Problema general

- ¿Cómo influye la implementación de un colector solar de aire en el confort térmico en viviendas alto andinas ubicados sobre los 3 200 m.s.n.m. durante la temporada de heladas del año 2019?

B) Problemas específicos

- ¿Cuál es la energía calorífica necesaria que permite alcanzar el confort térmico en una vivienda alto andina ubicada sobre los 3200 m.s.n.m.?
- ¿Cuál es el flujo de calor y tiempo que se requiere para alcanzar la temperatura mínima de confort térmico en una vivienda alto andina ubicada sobre los 3 200 m.s.n.m.?
- ¿Cuáles son los elementos de control para optimizar la eficiencia térmica del colector que permita mantener el confort térmico en una vivienda alto andina ubicada sobre los 3 200 m.s.n.m.?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Determinar la influencia de la implementación de un colector solar de aire en el confort térmico en viviendas alto andinas ubicados sobre los 3 200 m.s.n.m. durante la temporada de heladas del año 2 019

1.2.2 Objetivos específicos

- Calcular la energía calorífica necesaria para alcanzar el confort térmico en una vivienda alto andina ubicada sobre los 3 200 m.s.n.m.
- Calcular el flujo de calor y tiempo que se requiere para alcanzar la temperatura mínima de confort térmico en una vivienda alto andina ubicada sobre los 3 200 m.s.n.m.
- Identificar los elementos de control para optimizar la eficiencia térmica del colector que permita mantener el confort térmico en una vivienda alto andina ubicada sobre los 3200 m.s.n.m.

1.3 Justificación e importancia

Hoy en día, una de las aplicaciones más difundidas de la energía solar son los calentadores de agua y la calefacción de interiores de edificaciones, estos sistemas se han convertido en una alternativa ecológica y económica. Así mismo, el reglamento de edificaciones indica que se debe asegurar la salud, integridad, confort, protección térmica y sonora de las personas permitiendo realizar sus actividades de manera satisfactoria (4).

1.3.1. Energética

El territorio peruano, a nivel anual presenta un potencial de energía solar en donde la mayor parte se encuentra en la costa sur; en segundo lugar, la costa norte y tercero, gran parte de la sierra sobre los 2500 msnm donde la radiación solar se encuentra entre 5,5 a 6,0 kW h/m². Asimismo, es importante indicar que, la mayor variación anual (desviación estándar) es de manera inversa al potencial de radiación siendo la selva central, la sierra central y parte de la sierra norte la de menor variación(5).



Figura 4: Mapa de energía solar incidente diaria promedio anual (1975-1990).

Fuente: Atlas solar eólico Delta Volt información del SENAMHI (6)

1.3.2. Climatológica

Considerando la ubicación de la región Junín, las temperaturas más bajas son registradas en los meses de junio, julio y agosto con temperaturas media anual máxima y mínima (periodo 1958-1996) de 19.4°C y 4.3°C respectivamente, estos valores de temperatura van en contra de la salud del hombre por lo que, esta fuera del valor recomendado por las normas técnicas mencionadas (7).

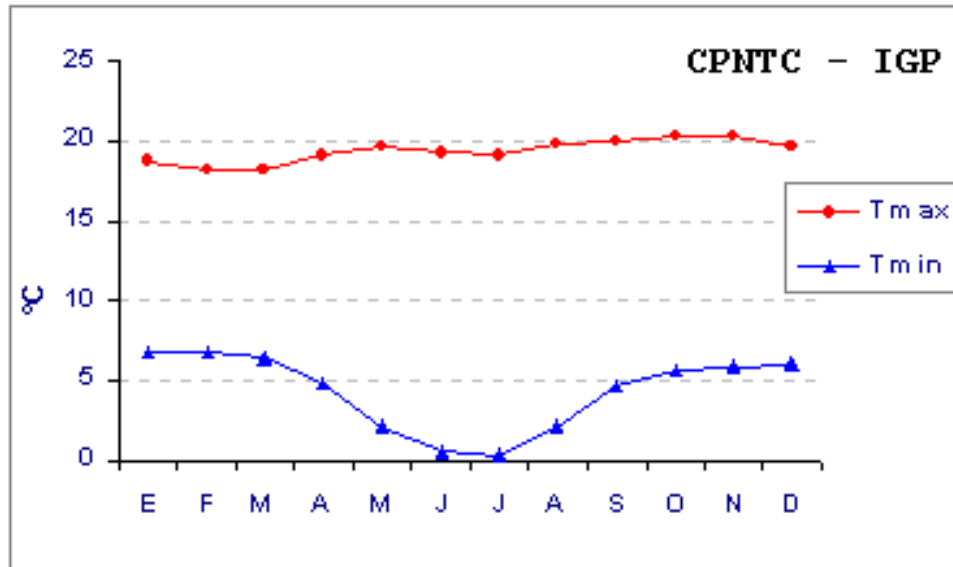


Figura 5: Promedios multianuales de temperaturas máximas y mínimas - período 1958-1996.
Fuente: El clima en el Perú: Huayao (7)

1.3.3. Científica y tecnológica

El Ingeniero Ambiental desarrolla capacidades para realizar investigaciones que conllevan a la aplicación de los principios básicos de los fenómenos de transporte en lo que respecta a la transferencia de calor, termodinámica y mecánica de fluidos entre otras disciplinas, contribuyendo así al desarrollo e implementación de tecnologías basados en el aprovechamiento de la energía solar que incide durante el año en la Región Junín.

En el Perú, los primeros proyectos con utilización de la energía solar se remontan a los años 86 con proyectos principalmente de electrificación, años más tarde en 1995 y 1998 el Ministerio de Energía y Minas incentiva principalmente a empresas privadas a invertir en proyectos fotovoltaicos y en referencia a la utilización de la energía térmica. Nuestro país aún está muy lejos de competir con las grandes potencias y por ello, el presente trabajo de investigación buscó implementar nuevas tecnologías de acorde a nuestra realidad y de este modo ampliar la visión del ingeniero ambiental (8).

1.3.4. Ambiental

El 11 de diciembre de 1997, en el artículo 12 del Protocolo de Kyoto se define mecanismos de desarrollo limpio o mecanismos para un desarrollo limpio (MDL) que permite a los gobiernos de los países industrializados y a las empresas (personas naturales o jurídicas, entidades públicas o privadas) desarrollar proyectos para cumplir con metas de reducción de gases de efecto invernadero (9).

El objetivo del MDL es promover las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y el desarrollo sustentable y, al mismo tiempo, crear flexibilidad en la manera de cumplir las metas del Protocolo. Ésta alternativa nos permitirá tener un mundo más limpio con la utilización de energías renovables al consumir menos combustible fósil; pues nuestro país cuenta con muchas regiones de radiación privilegiado que debemos aprovechar como fuente alterna de energía, para disminuir las emisiones de contaminantes, colaborar con el cuidado y la preservación del medio ambiente.

1.3.5. Económica

La energía no es gratis, como todo bien depende de qué tipo de energía se trata cuál y cómo es la fuente de la cual se obtiene cómo son y cómo operan los sistemas en cuanto a los sistemas de calefacción la quema de combustibles fósiles y/o eléctricos son los más difundidos y esto genera un costo de operación reiterado, de utilizarse energía solar como fuente para sistemas de calefacción los costos verían una reducción considerable más aún porque la región Junín cuenta con periodos de radiación prolongados.

La tecnología propuesta presenta una serie de ventajas económicas entre ellas el costo de operación es nula, la de mantenimiento muy baja, en presentación y diseño atractivo al usuario, ahorro máximo de energía radicando su desventaja solo en el costo de implementación.

En muchas zonas de la región, la calefacción es principalmente a base de electricidad o quema de combustibles; lo que resulta un sistema inaccesible para las familias de bajos recursos económicos por su costo de operación

prolongados. A diferencia del sistema de calefacción solar de doble contacto, solo necesita una inversión inicial más aún que esta tecnología tiene un tiempo de vida útil aproximado de 20 años, llegando ser una alternativa sostenible.

1.3.6. Social y cultural

En casi pleno siglo XXI las sociedades no asumen su rol de un desarrollo sostenible y así de manera automática tener un comportamiento coherente con la sostenibilidad. Si bien se ejerce una libertad de opción en medio de su desinformación, tanto personas como instituciones gubernamentales no cumplen su rol de divulgación respecto a estas opciones. En el Perú hay dos ámbitos resaltantes la de transporte y la iluminación doméstica(10).

Y en ambos casos, nuestro país estará atrasado en materia tecnológica, empoderados del consumismo o al conformismo de que la tecnología del exterior es mejor y no se propone el desarrollo de sistemas nacionales que puedan ser modificadas e implementadas en nuestro medio en bien de la población menos beneficiada. A pesar de la existencia de centros de investigación, poco o nada se hace frente al desarrollado de tecnologías innovadoras. El conocimiento existe, pero estos faltan aplicarlos.

Existen investigaciones y trabajos que proponen mejoras para obtener óptimos resultados que permitan solucionar problemas de la sociedad que tan necesitada de energía está, sistemas que le permita tener una mejor calidad de vida; más aun comprendiendo que como sociedad somos responsables de heredar un ambiente que permita gozar de las mismas o mejores oportunidades a los que nos sucederán en esta pequeña parte de la historia de nuestra tierra de la cual formamos parte. Entonces, social y culturalmente se debe entender que contamos con todas las posibilidades para mejorar la calidad de vida que la naturaleza nos entregó. La energía solar es una de las alternativas de las energías renovables que pueden solucionar varios problemas de la sociedad, reduciendo costos del consumo de energía y de la no contaminación del medio ambiente (11).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema.

El artículo científico titulado “Análisis de las irreversibilidades en colectores solares de placas planas no isotérmicos para calentamiento de aire, utilizando un modelo adimensional” cuyo objetivo fue estudiar la influencia que tienen los parámetros controlados por el diseñador de colectores solares sobre las irreversibilidades de estos dispositivos. El modelo adimensional fue resuelto para un rango de parámetros de diseño de número de flujo de masa, relación de aspecto longitudinal y transversal y con respecto a la distribución por fricción viscosa, se encontró que él mismo aumenta levemente a medida que el flujo de aire avanza por el colector, asimismo, las máximas irreversibilidades de un colector solar ocurren en las secciones de entrada donde la diferencia de temperaturas entre el aire y la placa de absorción es máxima. El estudio aporta información de las condiciones de transferencia de calor entre el absorbedor y las secciones que estas deben tener principalmente en las zonas de acceso de aire por la irreversibilidad de flujo de masa de aire y de ello elegir un diseño apropiado termodinámicamente óptimo (12).

En el artículo científico titulado “Colectores solares calentadores de aire para la calefacción de edificios” manifiesta que existen diversos tipos de colectores en tal sentido el objetivo frente a esta situación es ver qué modelo presenta mayor eficiencia en la colección de calor. Para ello, se construyeron diversos prototipos diferenciados por la forma en que el

aire circula en su interior y puestos aprueba en diversos escenarios; uno de flujo de aire entre la placa colectora y el fondo del colector, otro de doble flujo paralelo y la de flujo a través de una placa perforada. Los resultados indican que se puede implementar diversos prototipos, pero van a presentar ventajas en calefacción y desventajas en mantenimiento o viceversa, esto dependerá de las condiciones ambientales del lugar a implementar con este resultado se puede elegir convenientemente sin que esto signifique pérdida en el proyecto y por ello, el estudio aporta con sus resultados obtenidos en la aplicación de los prototipos que nos llevan a elegir unas variantes que se pueden implementar en el proyecto reduciendo las pérdidas de energía y de eficiencia por mantenimiento. Asimismo, la posibilidad de combinar los sistemas de mayor eficiencia para conseguir el objetivo de confort térmico en zonas frías aprovechando la energía solar (13).

El artículo científico titulado “Diseño, construcción y ensayos en circuito cerrado de un colector solar de aire con matriz porosa” especifica que la naturaleza del fluido (aire) de trabajo impone una desventaja en su uso para calentamiento, ya que los colectores se encuentran limitados en performance térmica debido a la baja densidad, baja capacidad calorífica y escasa conductividad térmica del aire y por ello, el objetivo es el diseño y construcción de un colector solar de aire de paso simple con absorbedor poroso para un flujo máximo y alta eficiencia y por ello se diseñó, construyó y ensayó un colector solar de aire de paso simple con absorbedor poroso constituido por una matriz metálica. Como resultado las medidas de temperatura de flujo de aire en la entrada y salida del colector, de temperatura ambiente y de la superficie del piso, muestran que el flujo de aire a la salida del colector alcanza diferencias del orden de los 25 °C respecto de la entrada, con un flujo de aire óptimo de 0,0641 kg/s, para el cual se obtiene una eficiencia media en mediodía solar cercana al 0,65. El aporte significativo nos permite modificar el diseño original para corregir inconvenientes, promoviendo la distribución del aire caliente por la base de las paredes asimismo modificar las aletas en el sistema de colección de aire vertical y horizontal (14).

El artículo científico titulado “Diseño, construcción y primeros ensayos de un colector solar calentador de aire de tipo loop convectivo para el calentamiento de edificios” cuyo objetivo general es desarrollar colectores solares de aire verticales para ser adosados a las fachadas de los edificios. De acuerdo a los resultados, la potencia máxima entregada por este prototipo bajo las condiciones meteorológicas del ensayo fue de sólo 400 W cuando

la potencia incidente superaba los 1.400 W. El aporte total de calor durante las 8 h de funcionamiento fue de 7,33 MJ y presenta también la evolución temporal de la eficiencia del colector obtenida dividiendo el calor útil por la irradiancia solar que alcanzó toda la cubierta de policarbonato. Su rango de variación fue de 0,07 a 0,28 con un bajo valor medio de 0,2 según se esperaba, por ello el aporte permite desarrollar un cálculo aproximado de la velocidad media del aire en el canal dentro del colector para poder tener referencia de las limitaciones frente a la distribución principalmente por la base de la construcción teniendo en cuenta el principio de pies calientes, cabeza fría, ya que tenemos el propósito de calefaccionar el ambiente principalmente de abajo hacia arriba y con ello modificar el modelo inicial (15).

En el artículo científico titulado “Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta” el objetivo es realizar un estudio teórico – experimental de la influencia que tiene la relación de sus dimensiones a un área constante sobre la eficiencia de un colector solar de placa plana que utiliza doble cubierta transparente para el calentamiento de aire. Presenta como resultado el desempeño del colector bajo regímenes de flujo turbulento y laminar, utilizando distintas relaciones de dimensiones (2:1, 4:1, 6:1 y 8:1) y con ello muestra el efecto que tuvo la variación de la relación de aspecto cuando se evaluó el colector bajo régimen turbulento en esta figura se ve claramente que la eficiencia del colector se ve fuertemente afectada por la relación de aspecto y el flujo másico de aire, de modo que a medida que aumenta la relación de aspecto la eficiencia aumenta, incluso para un flujo másico fijo; por otro lado, a medida que el flujo másico incrementa la eficiencia del colector también se aumenta. El estudio desarrollado nos conduce a buscar dimensiones apropiadas del colector solar buscando una mayor eficiencia, asimismo modificar el flujo laminar por flujo turbulento ya que de esta manera se puede transferir mejor el calor por convección del colector al fluido transportador que en este caso es el aire (16).

En la tesis titulado “Optimización del uso de los colectores solares térmicos de aire para la reducción del consumo de energía en edificios” realizado en la escuela de Post Grado de la Universidad de Valladolid. El estudio propuso modelar los elementos básicos del sistema completo: el intercambiador de calor, los colectores solares de aire y el depósito de acumulación (primario) con base a ello buscar la eficiencia de los colectores y su bajo costo como prioridad para zonas del interior de España (17). Además, la metodología presenta las siguientes características:

- Caracterización de un colector térmico solar de aire.
- Simulación de un colector térmico solar de aire.
- Ahorros energéticos obtenidos en ventilación y calefacción.
- Ahorros energéticos obtenidos en verano.

En la tesis titulada “Diseño, construcción e instalación de un sistema de calefacción con energía solar”, realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El estudio calculó el recurso energético disponible por el método Glover y Mc Culloch, Método de Page con base a los datos del atlas del Ecuador en seguida se buscó la demanda energética y estandarización de colectores solares para luego diseñar el sistema de calefacción, su construcción e instalación (18). Además, la metodología tiene las siguientes características:

- El piso radiante permite generar un confort térmico de abajo hacia arriba, se complementa como fuente de energía la radiación solar; por las múltiples ventajas individuales de cada sistema mencionado.
- Mediante la simulación térmica empleando un software de análisis por el método de elementos finitos se obtuvo notables mejoras en los resultados por efecto de una modificación geométrica de la placa emisora adherida a la tubería del serpentín.
- La inclinación y orientación, la altura mínima a la que se debe ubicar la entrada del agua al tanque desde el colector debe ser 0.6 m para garantizar que no exista el retorno del agua caliente.

En la tesis titulada “Sistema de calefacción solar térmico controlado para mantener el confort térmico en un ambiente de la FIQ” realizado en la escuela de Pre grado de la Universidad Nacional del Altiplano. El estudio aporta una metodología experimental que permite determinar valores reales por medio de mediciones directas e indirectas como también se emplea ecuaciones que permiten encontrar valores teóricos y contrastarlos con los resultados obtenidos (11). Además, la metodología tiene las siguientes características:

- Desarrolla el análisis de la ganancia y las pérdidas de calor por el flujo de agua en los radiadores considerando la transferencia al exterior del ambiente.
- Permite estimar la cantidad de energía necesaria para un óptimo funcionamiento en la calefacción retomando las ecuaciones de balance de energía.

En la tesis titulada “Validación experimental del modelo matemático dinámico de cuatro nodos de un colector solar plano” realizado en la escuela de pre grado de la Universidad Nacional del Centro del Perú el estudio aporta una metodología experimental y matemático de cuatro nodos consiste de un sistema de tres ecuaciones diferenciales ordinarias y una parcial, cuya solución numéricamente fue con el método de Runge - Kutta de cuarto orden y de diferencias finitas hacia atrás que se implementó en el Matlab (19). Además, la metodología tiene las siguientes características:

- El modelo matemático de cuatro nodos presenta una buena contrastación con las mediciones, sólo presenta baja predicción cuando la radiación solar es variable y un cuando el caudal es bajo.
- La temperatura es inversamente proporcional al caudal.
- Las variaciones de temperatura dependen de las condiciones de tiempo atmosférico variando en la zona.

En la tesis titulada “Acondicionamiento para el aprovechamiento de la energía solar en la I.E. Alfonso Ugarte” realizada en la escuela de pre grado de la Universidad Nacional del Centro del Perú. El estudio aporta un diseño arquitectónico en aprovechamiento directo de la energía térmica (20). Además, presenta las siguientes características:

- Lograr un óptimo uso y aprovechamiento de la integración energética y arquitectónica.
- El dimensionamiento y proporción tomado de acuerdo a la configuración de la reglamentación para este tipo de arquitectura.
- Demostración cuantitativa respecto a que los paneles solares son la solución de la falta de energía eléctrica en lugares alejados.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. Panorama energético mundial

Los cambios en la realidad energética mundial están en marcha y uno de los objetivos es transformar el sector energético en producción de energía de bajas emisiones de CO₂ en materia de cambio climático precisando los objetivos del Acuerdo de Paris. Asimismo, en 2015 las emisiones de CO₂ en el sector energía se estancó completamente y hubo una mejora de 1,8% de la intensidad energética de la economía mundial, esto se debió a los derivados de la eficiencia energética y al uso generalizado de energías renovables en todo el mundo (21).

Las necesidades energéticas del mundo siguen creciendo, pero millones de personas están quedándose al margen. En 2016, el 14% de la población del planeta no tenía acceso a la electricidad y 2.800 millones, carecen de fuentes de energía limpias para cocinar (22). El apoyo de la política a las tecnologías energéticas limpias generó la disminución de costos y la rápida expansión de estos, el coste medio comparable de la electricidad producida por tecnología solar fotovoltaica se redujo en un 70% entre 2010 y 2016. La producción eólica también disminuyó en 25% durante el mismo periodo (22). De acuerdo con las predicciones de la Agencia Internacional de Energía (IEA), a continuación, algunas de las proyecciones en diferentes escenarios (23):

Demanda Creciente de Energía

Si se promueven nuevas políticas, el crecimiento de la demanda de energía crecerá más lento, pero se expandirá un 30% entre la actualidad y el 2040. Siendo la India el mayor contribuyente a este crecimiento, cuyo uso de energía eléctrica aumentará hasta un 11% para el 2040.

Aumento de Renovables

En un escenario de nuevas políticas, la creciente necesidad el liderazgo de las energías renovables abarca dos tercios de la inversión mundial en plantas de generación, debido a que en muchos países el costo será menor que los derivados del petróleo. En Europa, las energías renovables llegarán a un 80% y la energía eólica tendrá de mayor aporte poco después del año 2030. Mientras que en China e India el despliegue de la energía fotovoltaica se proyectará como las emisiones de carbono para el 2040. El crecimiento se da en el sector eléctrico, transporte, y en aplicaciones térmicas.

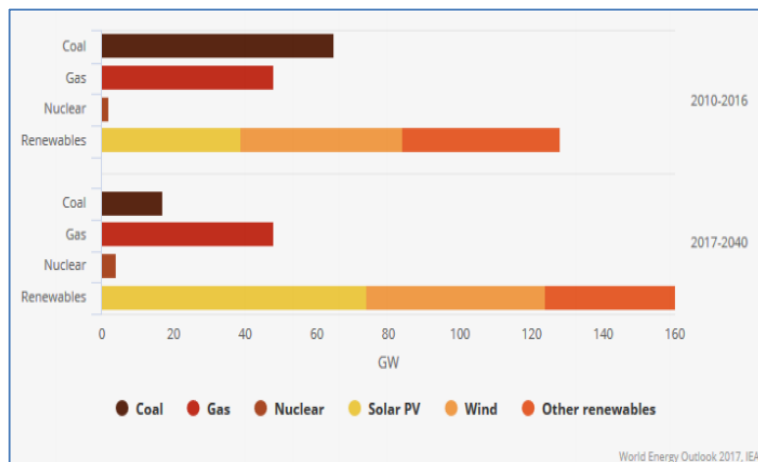


Figura 6: Promedio anual de adiciones de capacidad por tipo
Fuente: Panorama Energético mundial 2017: un mundo de transformación (23).

El futuro y el uso de la energía eléctrica

Para el año 2040, la electricidad tendrá un incremento del 40% y adquirirá 45 millones de nuevos consumidores de electricidad al año, debido al aumento de la electrificación de más territorios. El desafío de la política es garantizar que las tecnologías de generación eléctrica se adapten mejor a las necesidades del sistema de energía de cada región y país, proporcionando facilidades al aumento de energía eólica, solar y fotovoltaica (23).

La inversión, guiada por la política

Solamente un 15% más de inversiones a escala mundial son necesarias para lograr el acceso universal a la electricidad y evitar el cambio climático, por consiguiente, es necesario optar por políticas energéticas como implementar mecanismos de precios para controlar las emisiones por sectores y regiones, acabar con los subsidios a los combustibles fósiles, imponer límites más estrictos de emisiones para las centrales de generación eléctrica, reducir el contenido de azufre y partículas carburantes, potenciar el uso de gas natural en generación eléctrica, legislar medidas de eficiencia energética más estrictas; que permitan alcanzar esos objetivos (22).

El incremento de la población, ha generado un aumento de la demanda energética y el desarrollo del sector energético se ha convertido en una condición para el crecimiento económico de los países. La naturaleza finita de los recursos fósiles ha generado una búsqueda de mayor eficiencia en la producción y el uso de las energías renovables (24) .

2.2.2. Panorama energético nacional

En el actual escenario, el gobierno peruano se plantea el objetivo de pertenecer a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en diez años, cabe resaltar los requerimientos de la OCDE son 27% ambientales, en ese sentido el Perú debe orientarse hacia un crecimiento “más limpio” con base técnica, que no comprometa el desarrollo económico y social.

Actualmente, los principales problemas a los que nos enfrentamos son las emisiones de CO₂ a la atmósfera que proceden principalmente de la pérdida de biomasa forestal, así mismo, el consumo de energía fósil (petróleo, gas y carbón) para el

transporte, los gases liberados por remoción del suelo y digestión del ganado, emisiones por la descomposición de los residuos sólidos, entre otros. Al 2050, con una población alrededor de 40 millones de habitantes, se prevé la emisión de 8 toneladas de CO per cápita, esto se traduce en 40% más que las emisiones per cápita de 2010.

En este contexto, las políticas e inversiones deberían estar orientadas a usar mejores y más eficientes tecnologías que puedan mejorar diversas áreas de la economía nacional. Hasta el año 2000 la energía generada a base de hidroelectricidad representaba un 80% del total de la energía eléctrica. Al hacer uso del gas de Camisea, la participación de las hidroeléctricas fue reduciendo gradualmente, teniendo la participación del gas en un 41% (25).

Al 2015 la meta del MEM fue que 5% de la electricidad que produzca el Perú provenga de energías renovables, sin embargo, a pesar del gran potencial energético del país, esta meta se ha visto afectada debido al difícil acceso a lugares de sierra y selva principalmente donde no llega el sistema interconectado (26).

Es por ello, que el compromiso es hacer de uso mayor las energías renovables alternativas para las ciudades, pueblos con sistemas aislados, lugares con acceso dificultoso y costoso a la red eléctrica convencional; en los que resulte más económico instalar un sistema de tecnología renovable.

Para mantener el nivel de desarrollo, uno de los mayores desafíos del Perú como país en crecimiento es “asegurar el suministro de energía a precios competitivos y de manera sostenible en el tiempo”(27). Bajo los objetivos de la política energética nacional (D.S. N° 064-2010-EM) planteada para los próximos años (2010 -2040), el sistema energético deberá satisfacer la demanda de energía regular de forma confiable, regular, continúa y eficientemente con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética.

Por lo expuesto anteriormente, como rol de Estado concertado con los diversos actores de nuestra sociedad, resulta necesario fortalecer el planeamiento estratégico en el mediano y largo plazo con el fin de incrementar el nivel de participación eficiente de cada tecnología renovable en la oferta de generación, promoviendo una mayor

competencia y orientando las nuevas ofertas de inversiones hacia un crecimiento descentralizado. Asimismo, la meta de participación de energías alternativas debería no ser menor al 10% para el 2025, siendo esto técnicamente y económicamente viable (27).

2.2.3. Energías renovables

Es aquella energía que se obtiene de fuentes naturales usualmente inagotables, se les dice renovables ya que están en constante renovación de forma natural (28).

Teniendo en cuenta el panorama del sistema energético actual basada en el uso de energías de tipo finito y no renovables, principalmente combustibles fósiles, las energías renovables permiten un aprovechamiento indeterminado en el paso del tiempo (29).

2.2.4. Energía solar

Es la radiación que llega del Sol como principal fuente de energía sobre la Tierra. Esta forma de energía se renueva constantemente por lo que su utilización es ilimitada (30).

“Para poner de manifiesto la enorme cantidad de energía procedente del Sol se calcula que la que nos llega a la Tierra en 10 semanas de intensidad solar media es equivalente a todas las reservas conocidas de combustibles fósiles” (30).

La energía proveniente del sol no es constante en toda la superficie terrestre ni a lo largo del año, varía en función de la latitud. Cuanto más lejos se encuentre de la línea del Ecuador, hacia el norte o sur, la radiación variará durante el año (29). Asimismo dependerá de su estacionalidad, su alternancia día y noche, su dependencia de otra condición atmosférica, su intensidad, etc.(30).

En el Perú, a nivel anual la zona de mayor potencial de energía solar es la costa sur (16° a 18° S) con 6,0 a 6,5 kW h/m². La costa norte (3° a 8° S) y gran parte de la sierra sobre los 2500 msnm, registran una disponibilidad entre 5,5 a 6,0 kW h/m² de energía solar. La selva es la zona con bajos valores de energía solar de 4,5 a 5,0 kW h/m² (5).

2.2.5.El Sol

El sol es una estrella formada de gases (75% de H, 24% de He y trazas de todos los elementos conocidos) que representan más de un 99,8% de la masa total del sistema solar. Tiene una temperatura 5 500 °C en su superficie y más de 15,5 millones de °C en el núcleo (31).

Se encuentra a 149,5 millones de km, su luz tarda 8,3 minutos en llegar a la superficie de la Tierra, a una velocidad de 300.000 km/s (32).

Emite una potencia continua de 62 mil 600 kilowatts por cada metro cuadrado de su superficie, esto viene ocurriendo a lo largo de 4 mil 500 millones de años y se estima su permanencia unos 5 mil millones de años más, lo que lo hace prácticamente ilimitado en términos de años no aplicables al ser humano (33).

2.2.6.Radiación solar

En el interior del Sol suceden una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía.

“Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la denominada *radiación solar*” (34).

“Cantidad de energía procedente del Sol que se recibe en una superficie y en un tiempo determinados” (35).

“Es la transferencia de calor en forma de energía radiante, ondas electromagnéticas, entre dos superficies a distinta temperatura” (36).

“La radiación solar llega a la Tierra como ondas electromagnéticas en forma de fotones”, para su propagación no necesita un medio físico y su desplazamiento por el espacio es en todas las direcciones (32).

Su intensidad está sujeta a la altura solar (latitud, fecha y hora del día), condiciones atmosféricas y altura sobre el nivel del mar. Se clasifica en tres tipos (35):

- **Radiación solar difusa:** aquella radiación solar que sufrió cambios de dirección al atravesar la atmósfera.
- **Radiación solar directa:** aquella radiación solar sin ningún cambio de dirección por reflexión o difusión.
- **Radiación solar global:** es la suma de las radiaciones solares difusa y directa.

2.2.7. Proporciones de radiación

Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo sobre una superficie dependen de (34) (32):

- **Condiciones meteorológicas:** en un día soleado, la radiación es directa, puede llegar hasta el 90% de la radiación total, mientras que en un día nublado es habitualmente difusa.
- **Inclinación de la superficie respecto al plano horizontal:** la máxima radiación difusa cae sobre una superficie horizontal, pero recibe la mínima radiación reflejada. Al aumentar la inclinación de la superficie de captación aumenta la radiación reflejada y disminuye la difusa.
- **Presencia de superficies reflectantes:** las superficies más reflectantes son las claras, es por ello que la radiación reflejada aumenta en invierno a causa de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la superficie.

2.2.8. Leyes fundamentales

El poder emisor de un cuerpo en función a la energía radiada por una superficie viene dada bajo la Ley de Stefan Boltzman. Un cuerpo ideal y emisor perfecto denominado cuerpo negro, es aquel que puede absorber toda la energía que incide en él y no reflejar ninguna. En cambio, un cuerpo real tiene el poder emisor menor y refleja la energía que incide en él (36) (32).

La emisividad de una superficie depende de su naturaleza y acabado, su temperatura, la longitud de onda de la radiación emitida y la dirección de la radiación. La distribución de la radiación electromagnética que incide sobre la superficie de un cuerpo, se realiza en tres fracciones (36):

A. Reflectividad

Fracción de radiación incidente que es reflejada por la superficie de un cuerpo.

B. Absortividad

Fracción de radiación incidente absorbida por un cuerpo.

C. Transmitividad

Fracción de radiación incidente que atraviesa el cuerpo.

2.2.9. Aplicaciones

2.2.9.1. Energía fotovoltaica

Es la energía solar transformada en electricidad por medio de paneles solares. Puede ser usada de manera directa o almacenada en acumuladores para un uso posterior (34).

2.2.9.2. Energía solar térmica

Es la energía solar transformada en calor por medio de captadores solares aprovechando la energía del sol para calentar fluidos. Puede ser usado para dar calefacción o hacer uso de agua caliente (34).

2.2.10. Calor

“El calor es una forma de energía que se transfiere a causa de los gradientes de temperatura” (37).

2.2.10.1. Mecanismos de transferencia de calor

La transferencia de calor ocurre mediante tres mecanismos, que en la práctica pueden aparecer aislados o combinados entre ellos (38).

A. Conducción

Se produce cuando se transfiere energía desde átomos o moléculas más energéticos ($> T^\circ$) hacia los menos energéticos ($< T^\circ$). El calor fluye en el sentido decreciente de las temperaturas. Tiene lugar en sólidos, líquidos y/o gases.

B. Convección

“Se produce cuando un fluido en movimiento baña una superficie y ambos se encuentran a temperaturas diferentes” (38).

Este mecanismo de transmisión ocurre en todos los cuerpos con independencia de su estado. Según las causas que originan el movimiento del fluido, la transmisión de calor por convección se clasifica en dos tipos:

a. Convección forzada

“Sucede cuando una fuerza motriz exterior (ventilador, bomba, etc.) mueve un fluido sobre una superficie a una temperatura mayor o menor que la del fluido” (38).

- **Convección forzada interna:** fluido circulando en el interior de un conducto.
- **Convección forzada externa:** fluido que cala la superficie exterior de un cuerpo.

b. Convección natural o libre

Se produce el movimiento del fluido por diferencias de densidad. Las diferencias de densidad pueden atribuirse a las diferencias de temperatura en distintas zonas del fluido.

C. Radiación

Es la radiación electromagnética de tipo térmico, emitida por un cuerpo en todas las direcciones e incide sobre otro cuerpo en función de su temperatura, esta radiación debe ser reflejada, transmitida o absorbida. El cuerpo que absorbió la radiación incrementará su temperatura o energía interna, mientras que la parte reflejada o transmitida no tiene efecto alguno sobre su temperatura.

La transmisión de calor por radiación no necesita de un medio material para producirse, ya que la existencia de un medio solo aminoraría el intercambio de calor por radiación entre cuerpos.

2.2.11. Propiedades importantes de los materiales en la transmisión de calor

2.2.11.1. Conductividad térmica

Es la propiedad física que muestra la facilidad de una sustancia para conducir calor. Se denota por K (38).

La conductividad térmica depende de los siguientes factores:

- Composición química de la sustancia
- Fase: gaseosa, líquida o sólida
- Estructura cristalina (en caso de un sólido)
- Temperatura
- Presión
- Homogeneidad del material

“La conductividad aumenta cuanto menor es la distancia entre partículas que forman el medio en cuestión. Es decir, en general:

$$K(\text{sólidos}) > K(\text{líquidos}) > K(\text{gases})” (38).$$

A. Conductividad térmica de los sólidos homogéneos

Este tipo de sólidos son buenos conductores del calor, esto se debe en mayor proporción al movimiento de los electrones (especialmente en metales). Pero la conductividad térmica de metal no es constante con la temperatura por lo que se puede expresar a través de una ecuación lineal.

$$K = K_0 (1 + bT)$$

Donde K_0 es la conductividad térmica a 0 °C, b una constante que depende del tipo de material y T es la temperatura en °C (38).

B. Conductividad térmica de los sólidos no homogéneos

Estos materiales son muy malos conductores del calor, tienen valores menores de conductividad térmica debido a su estructura porosa o por su composición con diferentes sustancias. Son muy empleados como materiales aislantes y ciertos materiales de construcción. Su conductividad varía con la temperatura y especialmente con la densidad (aumenta la densidad, también aumenta la conductividad térmica) (38).

C. Conductividad térmica de líquidos y gases

- “La conductividad térmica de los líquidos únicamente depende de la temperatura” (38). Si la temperatura aumenta, la conductividad térmica de los líquidos disminuye. Un caso especial y diferente es el agua, un líquido no metálico, su conductividad térmica aumenta con la temperatura.
- “La conductividad térmica de los gases aumenta a medida que lo hace la temperatura y disminuye cuando aumenta su peso molecular” (38).

2.2.11.2. Valores típicos de conductividad térmica

Sustancias	Conductividad térmica W/(m·K)
Gases	
Freón-12 (0°C, 1 atm)	0.0083
Aire (0°C, 1 atm)	0.0241
Líquidos	
Anhidrido carbónico (liq. sat., 0°C)	0.105
Agua (liq. sat., 0°C)	0.562
Sólidos	
Hielo (0°C)	2.22
Cuarzo (20 °C)	7.6
Acero inoxidable (18% Cr, 8% Ni) (0°C)	16.3
Hierro, puro (0°C)	73
Cobre, puro (0°C)	386
Plata, pura (0°C)	430
Espuma de poliuretano (aislante)	0.023
Lana de vidrio (aislante)	0.060

Figura 7: Valores típicos de conductividad térmica.
Fuente: Transmisión de calor para ingenieros (38).

2.2.11.3. Calor específico

Es la capacidad de un material para almacenar calor por unidad de masa (38).

A. Difusividad Térmica

Es la facilidad de una sustancia para transmitir calor y la capacidad de la misma para almacenarlo.

B. Coeficiente de dilatación térmica

“Variación relativa de la densidad en una sustancia al variar su temperatura en un proceso de presión constante” (38).

C. Viscosidad de los fluidos

Resistencia de un fluido a fluir. La viscosidad de un fluido (líquidos o gases) afecta a la velocidad del mismo y depende de la temperatura, en caso de los gases a presiones cercanas a la saturación, también depende de la presión.

2.2.12. Energía solar térmica

La energía solar térmica o termosolar consiste en el aprovechamiento de la radiación solar para generar calor, puede aprovecharse para obtener agua caliente o calefacción (39). Utiliza captadores o colectores solares que calientan un fluido

(agua o aire) denominado caloportador y circula a través del colector que se encarga de incrementar la temperatura de este (32).

2.2.12.1. Sistema de captación solar

“El sistema de captación solar que transforma la radiación solar en calor se denomina Colector Solar o Panel Solar” (40).

Estos captadores solares térmicos convierten entre un 40% y un 60% de la luz solar recibida. Asimismo, es importante la orientación de estos captadores para aprovechar al máximo la radiación solar, su instalación deberá ser hacia el norte en el hemisferio sur y hacia el sur en el hemisferio norte, siempre mirando al Ecuador (32).

Para optimizar su rendimiento es importante el uso de superficies de color oscuro, con el fin de absorber una gran cantidad de energía. Se basa en que un material color negro y mate, expuesto a la radiación solar se calentará tanto que absorberá parte de esa radiación y el resto lo reflejará. Por lo contrario, un material claro y brillante reflejará tanto la radiación que absorberá menor energía por lo que se calentará poco (41). Para aprovechar al máximo un sistema de energía solar térmica, se debe tener en cuenta la ubicación más idónea para el colector, la radiación solar que incide sobre este puede verse afectada por presencia de posibles sombras provenientes de diversos elementos (arquitectónicos, vegetales, etc.) (32).

2.2.12.2. Clasificación de instalaciones solares

De acuerdo a la utilización que se vaya a hacer de la energía solar térmica, las instalaciones se clasificarán en (32):

A. Baja temperatura

Los sistemas de baja temperatura son aquellos que se utilizan en hogares, en los que el fluido calentado no sobrepasa los 100 °C. El sistema de captación es muy simple y útil a la vez.

B. Media temperatura

Se emplea para actividades que requieren temperaturas más elevadas que van de 100° C a 250 °C. En estas instalaciones se suele utilizar

fluidos como el aceite o soluciones salinas, debido a que estos materiales permiten trabajar a temperaturas más elevadas.

C. Alta temperatura

En este tipo de instalaciones, se pueden superar los 2000 °C de temperatura. Se consigue convirtiendo el calor en energía mecánica y, luego en energía eléctrica.

2.2.13. Tipos de sistemas

2.2.13.1. Sistemas pasivos

Aprovecha la captación solar sin ningún elemento intermediario. La energía solar se recibe directamente en los elementos arquitectónicos usados en los espacios, dependiendo de la época del año, pueden ayudar a dar calefacción o refrigeración. Estos elementos pueden ser pérgolas, voladizos, persianas, fachadas ventiladas, etc.

Un ejemplo, es el denominado muro trombe o muro solar ventilado, utiliza la radiación solar para calentar el aire recirculado del interior de un espacio, esta circulación puede ser forzada o por termosifón (17).

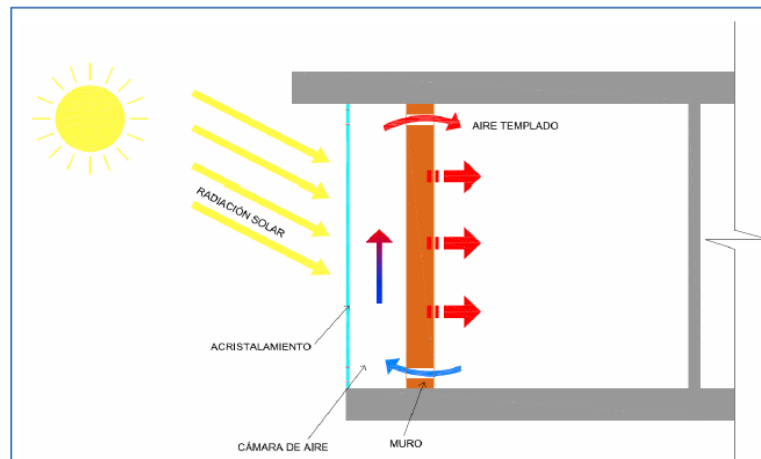


Figura 8: Muro Trombe

Fuente: Tesis Doctoral, Optimización del uso de los colectores.(17).

Otro ejemplo, es el muro parietodinámico, que emplea la radiación para precalentar el aire exterior e incorporarlo a la cámara de aire interior. Esta circulación de aire puede ser forzada o natural (17).

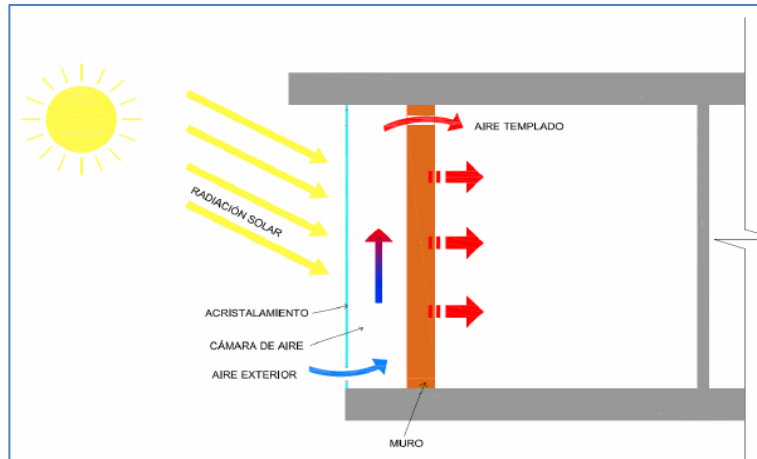


Figura 9: Muro Parietodinámico

Fuente: Tesis Doctoral, Optimización del uso de los colectores (17).

2.2.13.2. Sistemas activos

Aprovecha la energía solar por medio de un dispositivo de captación. Pueden ser de tipo térmico o fotovoltaica.

Su rendimiento dependerá de la posición e inclinación del dispositivo, la inclinación óptima será en torno a la latitud de la instalación. De acuerdo a las necesidades energéticas, en épocas de invierno, es conveniente aumentar la inclinación en torno a 10° , y en épocas de verano, disminuirla en torno a 10° . “La razón se debe a que la radiación solar incida lo más perpendicularmente a la superficie captadora para evitar reflexiones sobre la misma” (17).

2.2.14. Colector solar térmico de aire

“Colector solar que utiliza aire como fluido de trabajo” (42). Este tipo de colector se utiliza para calefacción de invernaderos, edificios, etc. (41)

Tipos

Se clasifican en función a los siguientes parámetros: forma y tipo de material del absorbedor, paso del aire por el colector; forma, posición y exposición de la placa absorbidora (17).

2.2.14.1. Tipo no poroso

En los tipos no porosos, la placa absorbidora funciona como barrera física e impide el paso del aire, mas no en la transferencia de calor. La corriente de aire circula por debajo, delante y detrás de la placa absorbidora (43).

A. Colector de una sola exposición

En este tipo, solo una placa es expuesta a la radiación solar y la otra es aislada en el fondo.

En función de la forma y posición del absorbedor se destacan dos; el colector de placa absorbedora aleteada y los de placa absorbedora corruga dentada, la eficacia de estos se basa en que aumentan la superficie de transmisión de calor notablemente (17) (44).

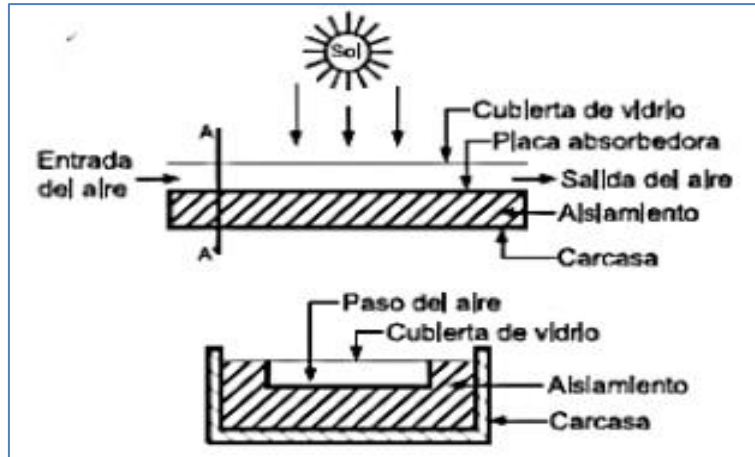


Figura 10: Colector no poroso de una sola exposición.

Fuente: Diseño y caracterización de un colector solar de aire con materiales reciclados (44).

B. Colector de doble exposición

Este tipo de colector usa la placa posterior pintada de color negro. Se le quita el aislamiento y se utiliza reflectores para redireccionar la irradiación hacia la placa ennegrecida, y vidriando para formar un ducto; de manera que entre las dos placas paralelas metálicas (negras) se consiga un ducto que emane calor de ambas a la corriente de aire, por ende, la eficacia incrementará considerablemente (17)(44).

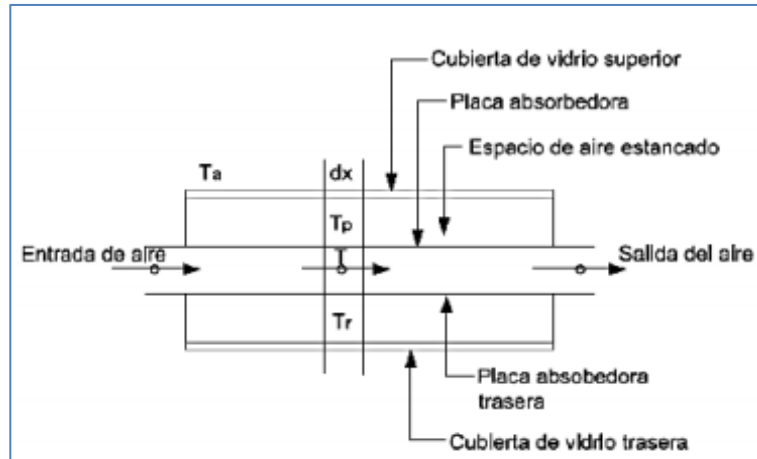


Figura 11: Colector no poroso de doble exposición.
 Fuente: Diseño y caracterización de un colector solar de aire con materiales reciclados (44).

C. Colector de dos pasos

En este tipo de colector, el aire circula entre varias placas. Es decir, entre dos cubiertas: la cubierta interior y la placa absorbedora, y a través de conducto ubicado entre placa absorbedora y la cubierta posterior (17) (44).

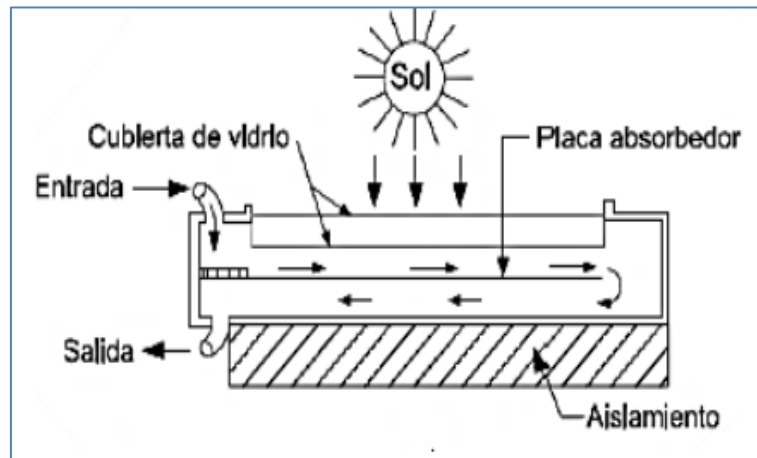


Figura 12: Colector no poroso de dos pasos.
 Fuente: Diseño y caracterización de un colector solar de aire con materiales reciclados (44).

D. Colector invertido

Este colector necesita elementos reflectantes para redireccionar la irradiación hacia la placa absorbedora. Se reduce las pérdidas de calor por radiación y convección a través de la cubierta de cristal superior que se dan desde el absorbedor, de manera que se consigue duplicar el aumento de temperatura hasta los 200 °C (17) (44).

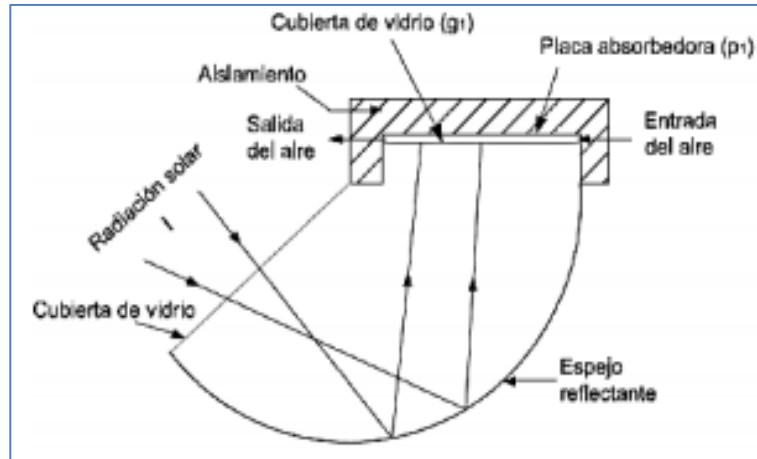


Figura 13: Colector no poroso invertido.

Fuente: Diseño y caracterización de un colector solar de aire con materiales reciclados (44).

2.2.14.2. Tipo poroso

En este tipo, los colectores tienen un absorbedor poroso. Además, pueden incluir rendijas y metales expandidos, placas absorbedoras de cristal solapados y paneles transpirados.

Su eficiencia se basa en la elección de una matriz de porosidad y espesor adecuado, en caso contrario, puede que la matriz no transfiera calor suficiente a la corriente de aire, por lo tanto, la eficiencia se verá afectada (17).

E. Colector con placas de cristal solapadas

Se colocan las placas unas sobre otras, intercalando una transparente y otra ennegrecida. El colector estará vidriado en la zona superior y aislado en el fondo, de modo que todo encaje en una caja metálica. Las placas negras absorberán la radiación para luego estas calentar el flujo de aire paralelo a ellas (17) (44).

La distancia óptima entre placas influye levemente en la eficacia, por lo que la separación deberá ser entre 5 y 7 mm, y el espesor del cristal óptimo sobre 3mm (45).

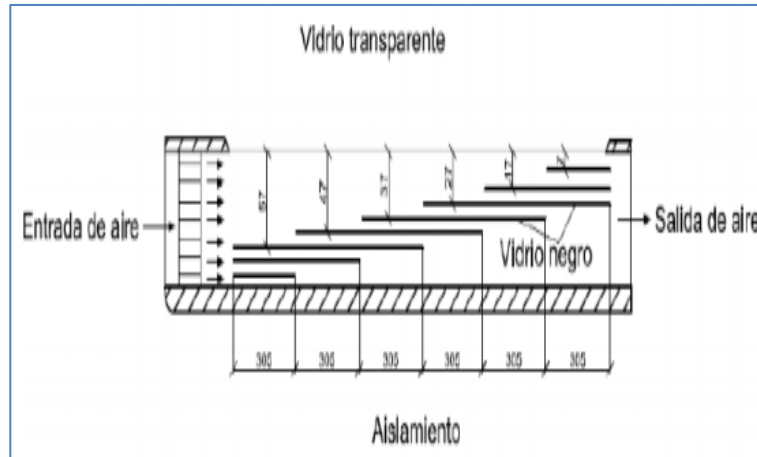


Figura 14: Colector poroso con placas de cristal solapadas.
 Fuente: Diseño y caracterización de un colector solar de aire con materiales reciclados (44).

F. Colector con el absorbedor en forma de panel de abejas

Se usan paneles opacos o transparentes, con formas rectangulares y hexagonales; instalados entre la cubierta y el absorbedor con el fin de reducir notoriamente las pérdidas que se producen por convección en la zona superior.

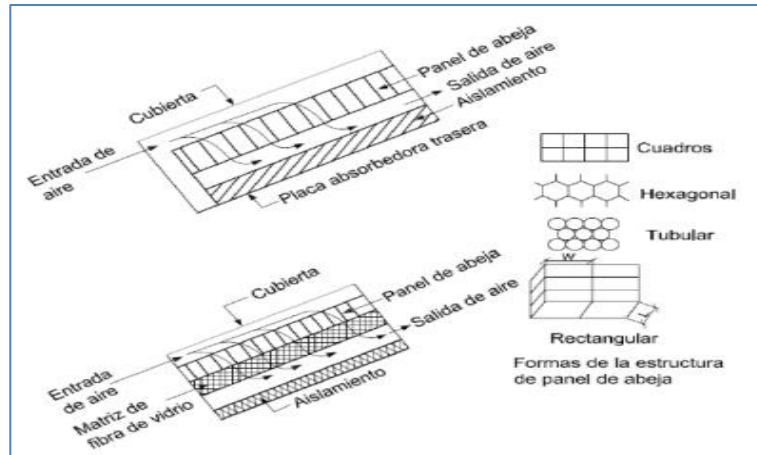


Figura 15: Colector poroso con absorbedor en forma de panel.
 Fuente: Diseño y caracterización de un colector solar de aire con materiales reciclados (44).

2.2.15. Radiación en el colector

Bajo la Ley de Stefan Boltzman, la radiación solar que llega sobre a la cubierta transparente de un colector tendrá el siguiente comportamiento: Una parte será reflejada volviendo al exterior, otra se transmitirá y de está que se transmite, una parte se quedará en la superficie absorbente del colector (32).

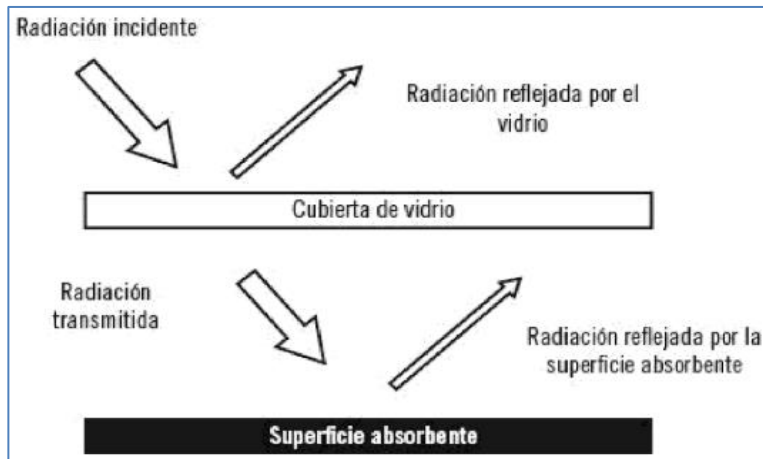


Figura 16: Fracciones de radiación en el colector.
Fuente: Replanteo de instalaciones solares térmicas (32).

En promedio de toda la radiación que recibe el colector, 7% lo absorbe la cubierta de vidrio, 7% se refleja y el 86% se transmite. Es por ello que la temperatura interior es mayor que la temperatura de la cubierta del vidrio (46).

Las cubiertas tienen índices de reflexión de aproximadamente del 4%, existen revestimientos antirreflexivos hasta con un 96%, estos mejoran el rendimiento del captador, asimismo, su durabilidad y estabilidad aseguran bajos niveles de reflexión a la atmosfera (32).

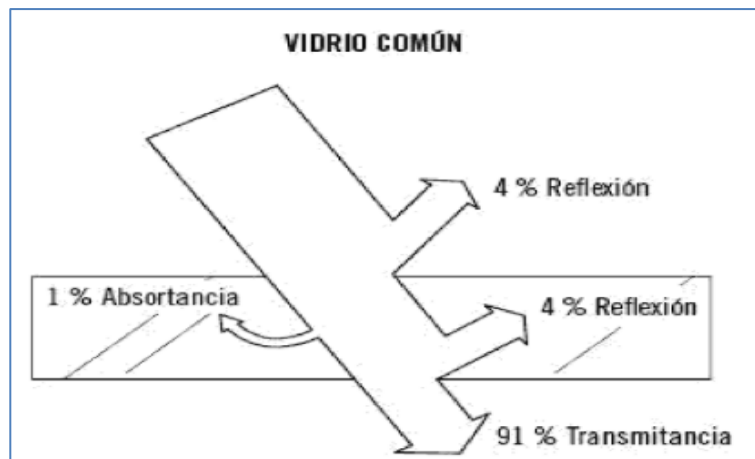


Figura 17: Fracciones de radiación en vidrio común.
Fuente: Replanteo de instalaciones solares térmicas (32).

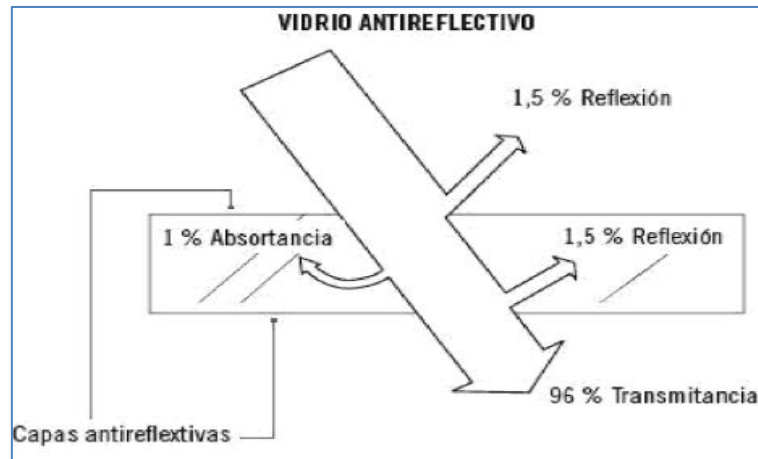


Figura 18: Fracciones de radiación en vidrio antirreflexivo.
Fuente: Replanteo de instalaciones solares térmicas (32).

2.2.16. Efecto invernadero en un colector

“El efecto invernadero es la base principal en el funcionamiento de los captadores solares” (32).

La radiación solar atraviesa la cubierta transparente con una longitud de onda corta, esta es absorbida por el captador y lo transforma en energía térmica. Cuando este absorbedor se calienta, emite radiaciones de longitud de onda larga que no pueden salir fuera de la cubierta transparente, ya que es opaca frente a esta radiación, por lo que la pérdida de energía por radiación es mínima. Asimismo, las pérdidas por convección disminuyen debido a que la cubierta transparente evita el contacto directo del absorbedor con el ambiente (32).

2.2.17. Aislante térmico en el colector

Para evitar las pérdidas de calor por la parte posterior, por los laterales, el captador debe ser aislado adecuadamente. Es recomendable usar materiales aislantes que soporten altas temperaturas y que presenten las siguientes características (32):

- Por acción del calor, no deben desprender vapores.
- No debe aumentar su volumen a causa de la humedad.
- No debe perder las propiedades aislantes.

2.2.18. Fundamentos de calefacción

2.2.18.1. Carga térmica

Cantidad de energía que requiere una instalación para refrigeración o calefacción, en un momento determinado, de modo que se mantenga las condiciones térmicas de un espacio interior.

Análisis de las cargas de acondicionamiento

Las cargas de acondicionamiento se dividen en dos ciclos (40):

- Carga térmica ciclo verano – Refrigeración
- Carga térmica ciclo invierno – Calefacción

Carga térmica ciclo invierno

Estudiar las cargas térmicas para el ciclo invierno, permite determinar cuánto calor se debe suministrar a los ambientes para compensar las pérdidas de calor y para mantener la temperatura confortable en los espacios a tratar (40).

Para calcular la valorización de la carga térmica se toma en consideración las temperaturas invernales que se producen generalmente de noche, sin tomar en cuenta las ganancias de calor por las fuentes internas (personas, alumbrado, etc.).

La evaluación de la carga debe tener en cuenta las pérdidas de transmisión de calor por cerramientos (paredes, ventanas, puertas, techos, pisos) del espacio estudiado, asimismo, las pérdidas por infiltración – ventilación a través de las carpinterías que dan al exterior.

En caso de una instalación de calefacción por aire es necesario medir las condiciones de temperatura y humedad para llevar el aire exterior a los interiores.

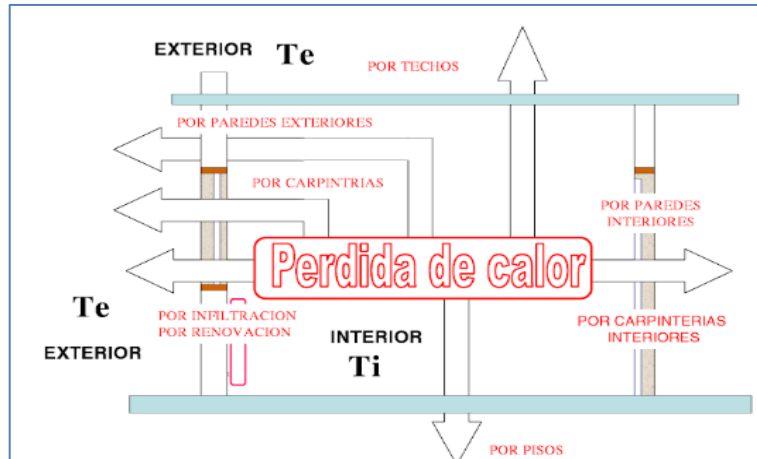


Figura 19: Pérdidas de calor por cerramientos.
Fuente: Acondicionamiento térmico de edificios (40).

2.2.18.2. Cálculos

Para realizar el cálculo de las cargas térmicas de un sistema de calefacción, se deberá tener en consideración(47):

A. Condiciones exteriores

Datos de temperatura de la localidad para los cerramientos exteriores y de los locales colindantes para los cerramientos interiores.

B. Condiciones interiores:

En caso de calefacción, interesan las condiciones de temperatura y humedad relativa para invierno.

C. Condiciones del local:

Aspectos constructivos y uso de locales como:

- Materiales de construcción
- Orientación de las paredes
- Ocupación

2.2.18.3. Cantidad de calor a suministrar por pérdidas por transmisión a través de cerramientos

Las pérdidas de calor en régimen estacionario de cada una de las superficies del contorno del local considerado, existen distintos tipos de cerramientos (47):

- **Cerramientos en contacto con el aire exterior:** suelos, techos y muros de fachada.
- **Cerramientos en contacto con el terreno:** suelos, techos y muros que tienen contacto con el terreno.
- **Particiones interiores en contacto con espacios no habitables:** suelos, techos, muros que estén en contacto con locales colindantes (no calefactados).
- **Cristales:** ventanas, puertas acristaladas.

Todos ellos, se calculan según las leyes de la transmisión:

$$Q_{\text{cerramientos}} = U \times S \times (T_i - T_e)$$

Donde:

U: transmitancia térmica del cerramiento (**W/m² °K**)

S: área del cerramiento (**m²**)

(T_e - T_i): incremento de temperatura entre el interior y exterior (**°K**)

2.2.18.4. Cantidad de calor a suministrar por pérdidas por ventilación y por infiltración

Aire que entra al local por pequeñas rendijas en puertas y ventanas. Estas pueden calcularse por separado (ventilación e infiltración) o conjuntamente (47).

A. Por ventilación:

- **Por renovaciones:**

$$Q_{\text{renovación}} = m_{\text{ren}} * C_p * (T_{\text{interior}} - T_{\text{exterior}})$$

Donde:

m_{ren} : Flujo másico de aire por renovación ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$)

C_p : Calor específico del aire ($1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$)

T_{int} : T° en el interior del ambiente doméstico.

T_{ext} : T° en el exterior del ambiente (sin climatizar).

ρ : densidad del aire a T° promedio y presión atm local.

B. Por infiltración:

$$Q_{\text{infiltración}} = 0.3 * Q_{\text{renovación}}$$

La carga térmica por infiltración es el 30% de la carga térmica de renovación.

2.2.18.5. Cantidad de calor a suministrar por pérdidas por cargas térmicas suplementarias

- **Factor de orientación:** Si la orientación del local es al norte, el coeficiente a aplicar será el de mayor corrección.
- **Factor de intermitencia:** Si la instalación se encuentra apagada durante largos periodos de tiempo, cuando vuelva a funcionar el aporte de calor será mayor para poder llegar a las temperaturas deseadas (47).

2.2.19. Confort térmico

Confort o bienestar térmico, es un estado de tipo subjetivo correspondiente a la interacción del organismo con las temperaturas del aire, los niveles de humedad, velocidad del aire, etc. de un espacio determinado (48).

“Las reacciones de confort o incomodidad térmica vienen dadas por las condiciones climáticas, por la producción de calor del metabolismo humano y por las transferencias de calor con el ambiente” (48).

2.2.19.1. Condiciones básicas para el confort térmico

Existen dos condiciones básicas para mantener el confort térmico (31):

- La combinación de la temperatura de la piel y la temperatura del centro del cuerpo deben proporcionar la sensación de neutralidad térmica.
- El calor producido por el metabolismo debe ser igual a el calor perdido por el cuerpo.

CONDICIONES PARA EL CONFORT TÉRMICO SEGÚN UNE-EN ISO 7730		
CONDICIONES	INVERNALES	VERANIEGAS
TEMPERATURA OPERATIVA	20° - 24°	23° - 26°C
VELOCIDAD DEL AIRE	< 0,15 m/s	< 0,25 m/s
HUMEDAD RELATIVA	50%	50%
RESISTENCIA TÉRMICA DEL VESTIDO	1 clo	0,5 clo

Figura 20: Condiciones para el confort térmico.
Fuente: INSHT. Ergonomía (49).

2.2.19.2. Balance corporal

El calor corporal del ser humano debe mantenerse alrededor de los 37°C, si este incrementa debe ser disipada al ambiente. Asimismo, si hay ganancia de calor por una fuente externa (radiación solar, aire caliente, cocina, etc.) también debe ser disipada.

2.2.19.3. Variables ambientales

El confort térmico dentro de edificaciones es influenciado por cuatro variables ambientales: temperatura del aire, humedad, temperatura radiante y velocidad del viento.

2.2.20. Desempeño térmico de las viviendas

Para analizar el comportamiento térmico de una vivienda, es necesario entender su funcionamiento como un sistema integral. Esto depende de diversos factores que interactúan a través del tiempo y rigen los mecanismos de transferencia de calor. En una vivienda se producen ganancias y pérdidas de calor respecto a la temperatura de confort que es generalmente de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (50).

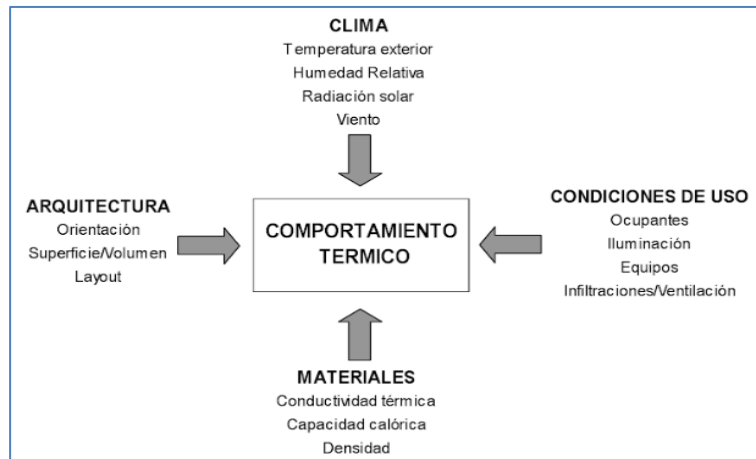


Figura 21: Factores que influyen en el comportamiento térmico de las viviendas
Fuente: Revista Ingeniería de Construcción (50).

2.2.21. Estratificación del calor

El aire caliente tiende a elevarse y permite la estratificación de las cargas de convección. Existen normalmente dos situaciones en la que el calor se estratifica (40):

- El calor se estratifica en los locales de techo alto: se produce en industrias, iglesias y salas de espectáculos. En estos locales, gran parte de la carga de convección se estratifica en el techo.
- El calor puede estratificarse también encima de los cielorrasos, y sistemas de retorno situados en el techo: se produce en hoteles, departamentos y locales de oficinas. Hasta los tres metros de altura el efecto de estratificación se desprecia, ya que la temperatura es unificada por el movimiento de personas, puerta, etc.

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1. Energías renovables:

Son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana (34).

2.3.2. Energía SOLAR:

La energía solar directa es la energía del Sol sin transformar, que calienta e ilumina (34).

La energía solar es la energía radiante producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión que llegan a la Tierra a través del espacio (35).

2.3.3. Radiación solar:

Es una corriente de energía que el Sol irradia uniformemente en todas las direcciones del espacio en forma de ondas electromagnéticas (35).

2.3.4. Calor:

La energía térmica o calorífica, vulgarmente conocida con el nombre de calor, es una forma particular de la energía. Está relacionada con el movimiento, más o menos caótico, de las partículas que componen los cuerpos materiales (51).

2.3.5. Energía solar térmica:

Se denomina térmica a la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, etc., son aplicaciones térmicas (52).

2.3.6. Colector solar:

Artefactos diseñados con el fin de absorber energía solar, para lo que se requiere un buen material absorbente y buen transmisor de calor. Su rendimiento puede aumentar si se encierra en vidrio, que es transparente a la luz visible, pero que es opaco a la radiación infrarroja que emite el cuerpo negro colector (53).

2.3.7. Carga térmica:

Potencia energética máxima demandada que hay que aportar para mantener las condiciones de los locales, etc. (54).

2.3.8. Confort térmico:

Es la condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico (55).

2.3.9. Flujo de calor:

se denomina flujo de calor Φ al calor transmitido por unidad de tiempo a través de una superficie isoterma S.(56)

2.3.10. Optimización:

La teoría de optimización clásica o programación matemática, también conocida como la Ciencia para la mejora, está constituida por un conjunto de resultados y métodos analíticos y numéricos enfocados a encontrar e identificar al mejor candidato de entre una colección de alternativas, sin tener que enumerar y evaluar explícitamente todas esas alternativas. Un problema de optimización es, en general, un problema de decisión.(57)

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación según su naturaleza, es de **tipo Aplicada**, puesto que, la investigación aplicada, constructiva o utilitaria, es aquella que está orientada a la utilización de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y las consecuencias prácticas que de ella se deriven (58).

Así mismo, el tipo de investigación que subclasifica la investigación aplicada es de **tipo Tecnológica**, aquella que se hace con objeto de producir y experimentar tecnología: técnicas, instrumentos, programas, materiales y equipos; así como reglas que prescriben la acción. La investigación tecnológica se apoya en los hallazgos de la investigación básica o de la investigación sustantiva e incluso de la investigación aplicada, para la producción de reglas, equipos o instrumentos que tienen por objeto transformar la realidad. A diferencia de lo que ocurre cuando se evalúa una investigación básica, sustantiva o aplicada, la investigación tecnológica no permite que sus hallazgos sean discutidos en términos de verdaderos o falsos (59).

Por lo tanto, se concluye que el tipo de investigación según su naturaleza es de tipo Aplicada - Tecnológico.

3.1.2 Nivel de investigación

El nivel de investigación es de tipo Tecnológico con aplicación del método experimental, puesto que, se diseñó y construyó un colector solar térmico de aire para mejorar el confort térmico en viviendas alto andinas de la región Junín, se tomó datos como temperatura, radiación y humedad, para probar experimentalmente la utilidad del colector solar.

3.1.3 Metodología de diseño

La metodología propuesta en la presente investigación está basada en las recomendaciones de la Asociación Alemana de Ingenieros (VDI). VDI 2221 con el título de Metodología de Diseño en Ingeniería.

Es el documento a partir del cual se han extraído las directrices que dan la estructura y coherencia al plan metodológico de diseño del presente trabajo. La VDI 2221 (Verein Deutscher Ingenieure) denominada “Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos”, norma desarrollada por los ingenieros profesionales, esta analiza y entiende el problema a profundidad, es especialmente útil para la realización de productos(60).

En general todos los métodos para el diseño incluyen cuatro partes básicas, se encuentran agrupadas o disgregadas según diferentes criterios(60). Estas actividades básicas del diseñador son las siguientes:

a) Comprensión de la solicitud

Representa el punto de partida en la elaboración de un equipo o una máquina, aquí se establece la dimensión del problema y se plantean a manera de objetivos una lista de exigencias en la cual se consigna las características principales que debe cumplir el diseño.

La comprensión de la solicitud es el equivalente del planteamiento del problema en el método científico.

Para cumplir, existe un conjunto de pasos sistematizados que el diseñador debe llevar a cabo, siendo los que a continuación se detallan.

❖ **Asumir el problema en forma crítica:**

Es establecer si la información de la que se dispone es deficiente, incompleta, difusa o contradictoria, con el fin de evitar futuras complicaciones.

❖ **Averiguar el estado de la tecnología**

Consiste en la recopilación de toda la información disponible relacionando con la investigación. En esta etapa se establece sobre lo que se ha investigado y sobre lo que no se ha investigado, esto permite establecer los antecedentes, la base teórica, la justificación, etc.

❖ **Analizar la situación del problema**

Permite clarificar el problema, transformando la investigación de un concepto tácito y difuso en números que establezcan los plazos de entrega, la tecnología a utilizar, los costos entre otros.

❖ **Comprobar las posibilidades de realización**

Aquí se conjuga los criterios técnicos y económico, el primero establece si es posible realizar el diseño con la tecnología y conocimiento existente, el segundo establece si el diseño de una máquina será rentable en términos económicos.

❖ **Completar las exigencias, ordenarlas y cuantificarlas**

Aquí se ordena la información priorizando las exigencias y ordenándolas de manera que sea posible establecer una relación entre las funciones del equipo y su función principal.

❖ **Detallar completamente la lista de exigencias**

Aquí se redacta un formato que constituye un resumen del planteamiento del problema.

❖ **Preparar, planear y organizar el desarrollo del problema**

Es el aspecto administrativo que permite una distribución de los recursos humanos y materiales disponibles para realizar el diseño.

b) Concepción de solución

Es la siguiente etapa luego de detallar el problema. La elaboración del concepto de solución se logra a través de la formulación de una estructura de funciones y la búsqueda de principios de solución apropiados para cada función, logrando de esta manera reconocer el concepto de solución óptima.

Se subdivide en dos etapas:

❖ **Estructura de funciones**

Establece las funciones del equipo mediante la abstracción del problema a través de la elaboración de la caja negra, cuyo resultado establece la función total y parcial del equipo representándolos en diagrama de bloques.

❖ **Concepto de solución**

Se determina los operandos que ingresan o salen de la caja negra y su forma de acción, luego se determina los mecanismos que intervienen para desarrollar los determinados procesos y se los ordena en la denominada matriz morfológica.

Seguidamente se relaciona los portadores de solución logrando con esto la elaboración de los conceptos de solución y finalmente se evalúan los aspectos técnicos y económicos con lo cual se determina el concepto de solución óptimo.

c) Elaboración de proyecto

En esta fase se desarrolla un proyecto definitivo a partir de la estructura de construcción óptima encontrada en la fase anterior, contemplando dos etapas:

❖ Proyecto preliminar

❖ Proyecto definitivo

Para que el proyecto sea exitoso se debe contemplar las siguientes reglas:

❖ Claridad

❖ Simpleza

❖ Seguridad

d) Elaboración de detalles

Son un conjunto de documentación necesaria para la fabricación del equipo, debiendo cumplir con:

❖ Proporcionar el fundamento

❖ Elaboración de las formas, dimensionado definitivo y completo

❖ Determinar completa y definitivamente el material, clase de procesos de fabricación, tolerancias y la claridad del acabado superficial.

❖ Determinar el estado del montaje

- ❖ Representar las piezas, se debe dimensionar e indicar el material, tolerancias y acabado superficial
- ❖ Detallar planos del conjunto, listas de piezas y otros documentos
- ❖ Mejorar, evaluar y verificar

Cualquiera sea el método que se elabore para diseñar, se verán estas fases de alguna manera, en este trabajo se enfocó en el proceso generalizado de desarrollo y diseño según la norma VDI 2221 como se muestra en el siguiente esquema.

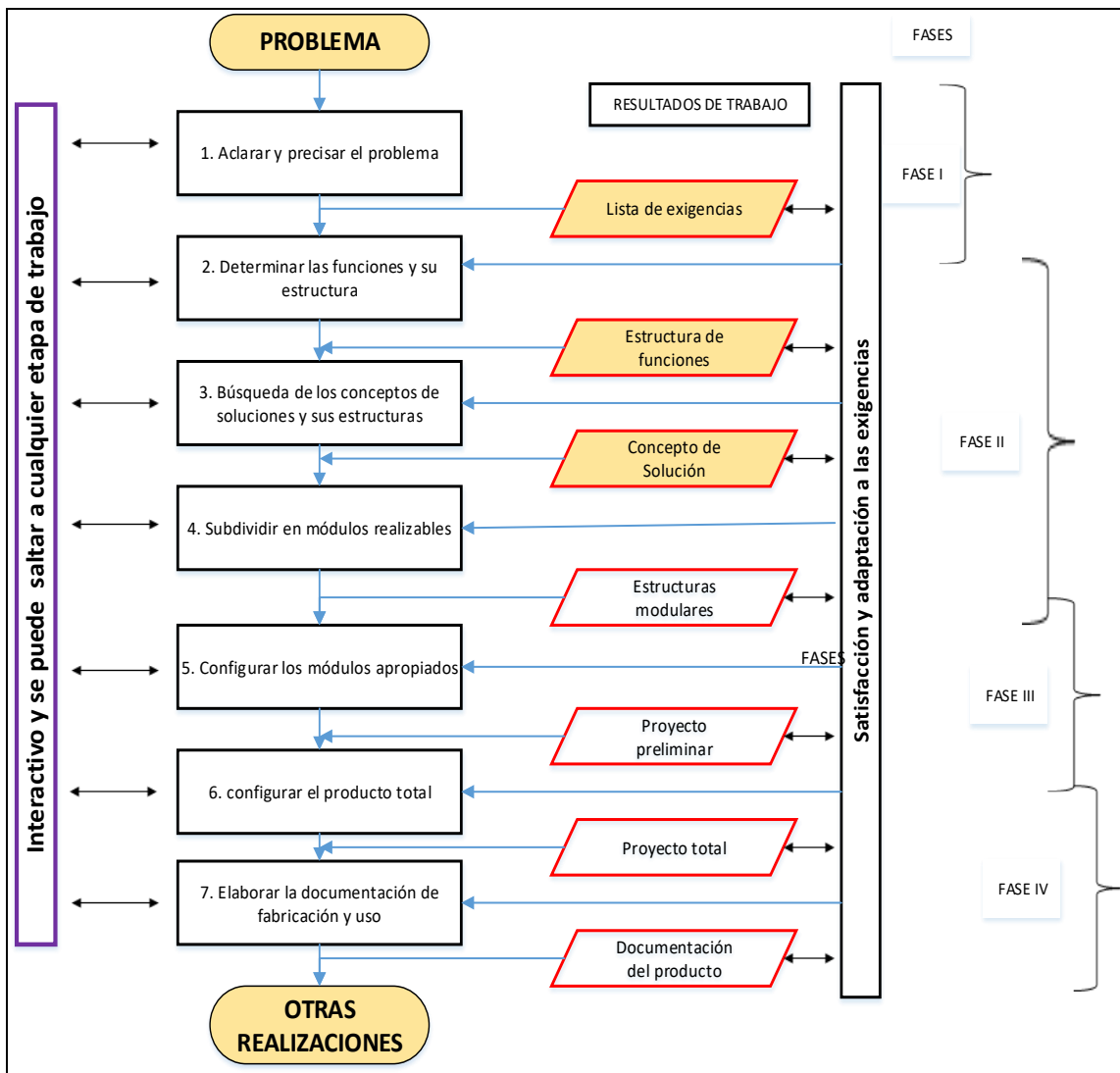


Figura 22: Diseño según la Norma VDI 2221
Fuente: Norma VDI 2221.(60)

1. Lista de exigencias

Tabla 1: Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 2
			Edición: Rev. 1
PROYECTO	OPTIMIZACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR TÉRMICO DE AIRE PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS ALTO ANDINAS DE LA REGIÓN JUNÍN		Fecha: 17/06/2019
			Revisado: Jacinto Arroyo
BENEFICIARIOS	VIVIENDAS UBICADAS SOBRE LOS 3 200 m.s.n.m. DE LA REGIÓN JUNÍN		Elaborado: Investigadores
Fecha	Exigible / Opcional	Descripción	Responsable
17/06/2019	E	FUNCIÓN PRINCIPAL: Alcanzar un confort térmico de 22 °C en el ambiente de un área aproximada de 13 m ² que se ubica en el distrito de El Tambo a 3257 m.s.n.m.	Investigadores
17/06/2019	E	ENERGÍA: Se empleará como fuente la energía solar debiendo ser el funcionamiento del sistema eficientemente energética.	Investigadores
17/06/2019	E	GEOMETRÍA: El Colector deberá ocupar el menor espacio posible.	Investigadores
17/06/2019	E	SEGURIDAD: El sistema debe ser diseñado de manera que no exponga la integridad física del usuario, tomando en cuenta de no afectar el sistema ni el medio ambiente.	Investigadores
17/06/2019	E	FABRICACIÓN: El colector deberá ser construido con materiales y maquinaria disponible en el medio.	Investigadores
17/06/2019	E	MONTAJE: El colector deberá ser de fácil montaje y desmontaje.	Investigadores

17/06/2019	O	MANTENIMIENTO: Los elementos y su conjunto deberán ser de fácil acceso por motivos de mantenimiento.	Investigadores
17/06/2019	O	COSTOS: El costo deberá ser accesible en comparación a su tiempo de vida útil	Investigadores
17/06/2019	E	PLAZOS: El colector deberá ser entregado en el plazo establecido de acuerdo al cronograma de actividades.	Investigadores
17/06/2019	E	TRANSPORTE: El colector deberá ser de fácil transporte para su posterior instalación.	Investigadores
17/06/2019	E	ERGONOMÍA: El colector siendo de operación automática debe lidiar con las bajas T° para favorecer al usuario en el desarrollo de sus actividades.	Investigadores

Fuente: Elaborado por los investigadores

2. Estructura de funciones

2.1. Caja negra

La función total del colector solar de aire puede representarse en forma de una caja negra, donde se tienen en cuenta magnitudes de entrada y salida, considerando como datos de entrada la radiación como energía que permite el calentamiento del aire.

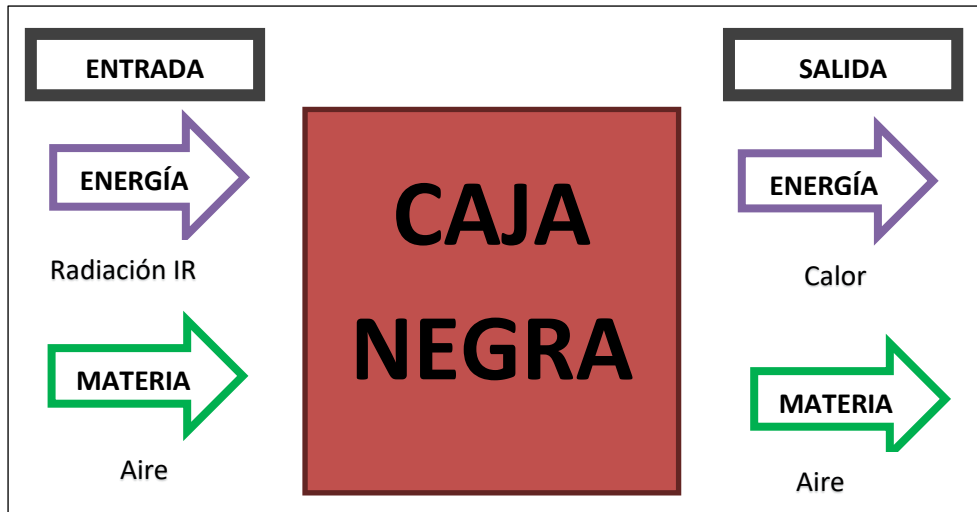


Figura 23: Caja Negra
Fuente: Elaborado por los investigadores

Entradas

- ❖ Materia : Aire frío en un flujo de $0.034 \text{ m}^3/\text{s}$
- ❖ Energía : Energía proveniente de la radiación Infrarroja 449.54 w/m^2

Salidas

- ❖ Materia : Aire caliente en un flujo de $0.022 \text{ m}^3/\text{s}$
- ❖ Energía : Calor generado por el colector de 161.981 kw

2.2. Procesos técnicos

Para la operación del equipo se han identificado 5 procesos básicos.

- ❖ Flujo de aire frío
- ❖ Aislamiento con el exterior
- ❖ Transferencia de la placa colectora
- ❖ Regulación del flujo del aire en el interior
- ❖ Ángulo de inclinación
- ❖ Flujo de aire caliente

2.3. Estructura de funciones generales

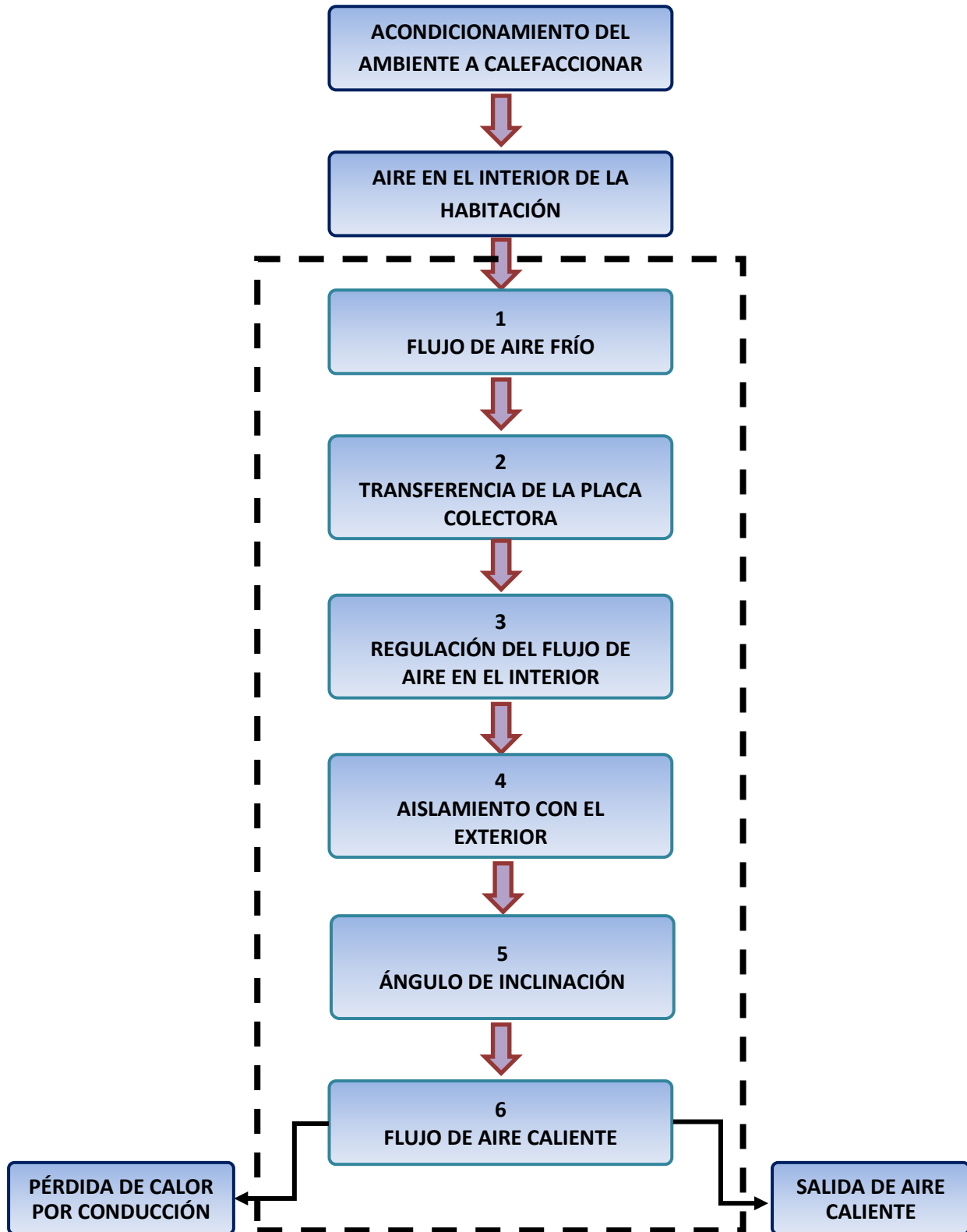
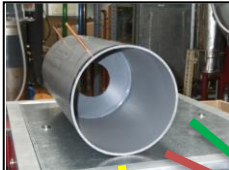
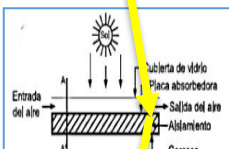

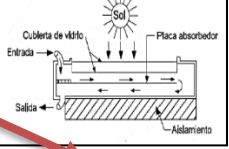
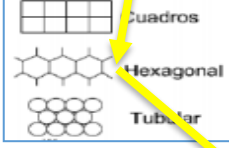
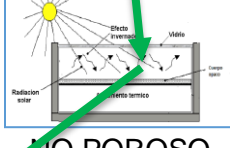
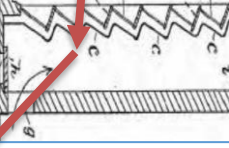

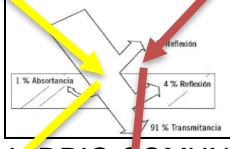





Figura 24: Estructura de funciones generales
Fuente: Elaborado por los investigadores

3. Matriz morfológica

3.1. Desarrollo de la matriz morfológica

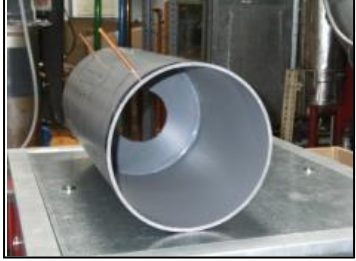
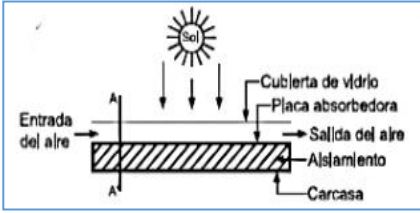
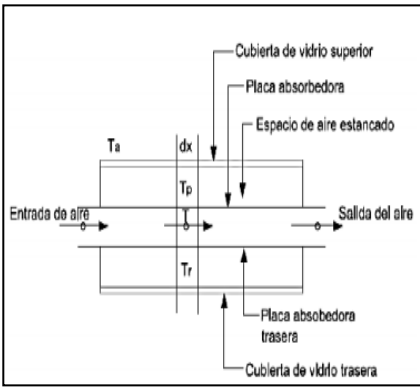
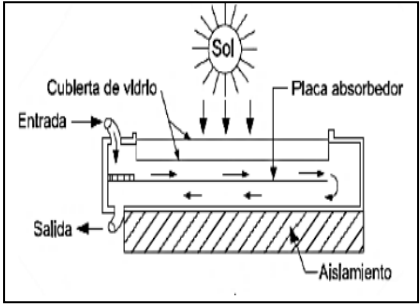
Tabla 2: Matriz morfológica

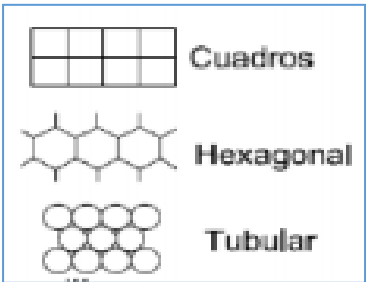
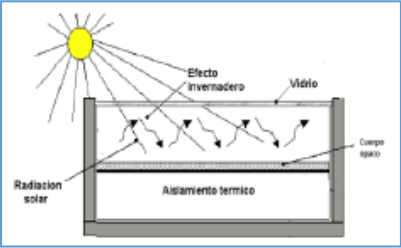
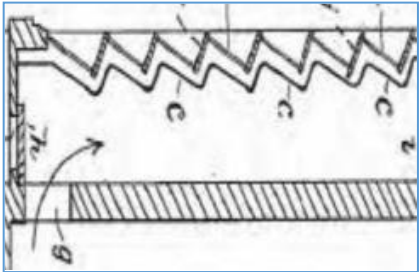
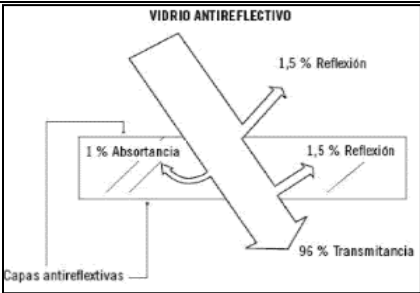
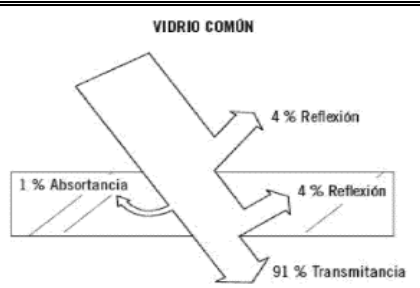
FUNCIONES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Flujo de aire frío	 <p>CONDUCTO</p>		
Transferencia de la placa colectora	 <p>UNA EXPOSICIÓN</p>	 <p>DOBLE CONTACTO</p>	 <p>DOBLE EXPOSICIÓN</p>
Regulación del flujo de aire en el interior	 <p>POROSO</p>	 <p>NO POROSO PLANO</p>	 <p>NO POROSO CORRUGADO</p>
Aislamiento con el exterior	 <p>VIDRIO ANTIRREFLECTIVO</p>	 <p>VIDRIO COMUN</p>	
Ángulo de inclinación	 <p>VERTICAL</p>	 <p>INCLINADO</p>	
Flujo de aire caliente	 <p>CONDUCTO</p>		
	<p>CONCEPTO 1 CS1</p>	<p>CONCEPTO 2 CS2</p>	<p>CONCEPTO 3 CS3</p>

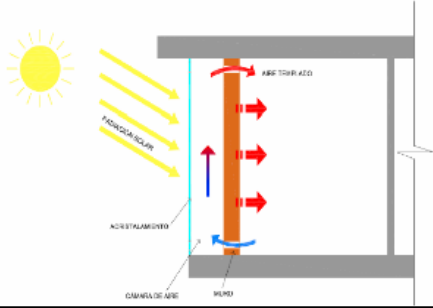


Fuente: Elaborado por los investigadores

3.2. Consideraciones sobre los portadores de solución

Tabla 3: Consideraciones sobre los portadores de solución

N°	Portador de Solución	Descripción	Imagen referencial
1	Conductor	<p>Existe una gama de tuberías que permiten el paso del flujo de aire, en función a sus características, pueden ser: forzado y sencillos.</p> <p>El sistema requiere de un medio económico y sencillo para transportar el flujo del aire frío.</p>	
2	Placa de una exposición	<p>En este tipo, solo una placa es expuesta a la radiación solar y la otra es aislada en el fondo.</p>	
	Placa de doble contacto	<p>Este tipo de colector usa la placa posterior pintada de color negro. Se le quita el aislamiento y se utiliza reflectores para redireccionar la irradiación hacia la placa ennegrecida, y vidriando para formar un ducto; de manera que entre las dos placas paralelas metálicas (negras) se consiga un ducto que emane calor de ambas a la corriente de aire, por ende, la eficacia incrementará considerablemente.</p>	
	Placa de doble exposición	<p>En este tipo de colector, el aire circula entre varias placas. Es decir, entre dos cubiertas: la cubierta interior y la placa absorbidora, y a través de conducto ubicado entre placa absorbidora y la cubierta posterior.</p>	

3	<p>Flujo en medio poroso</p>	<p>En este tipo, los colectores tienen un absorbedor poroso. Además, pueden incluir rendijas y metales expandidos, placas absorbedoras de cristal solapados y paneles transpirados. Su eficiencia se basa en la elección de una matriz de porosidad y espesor adecuado, en caso contrario, puede que la matriz no transfiera calor suficiente a la corriente de aire, por lo tanto, la eficiencia se verá afectada.</p>	
	<p>Flujo en medio no poroso plano</p>	<p>Un colector de tipo plano no poroso, genera un mayor flujo de aire debido al menor tiempo de permanencia y contacto en el interior para ser calentado.</p>	
	<p>Flujo en medio no poroso corrugado</p>	<p>La modificación del colector plano por otro corrugado, permite el flujo de aire más lento y mayor tiempo de permanencia, ya que la velocidad de aire en el interior disminuye favorablemente, permitiendo una mayor transferencia de calor.</p>	
4	<p>Vidrio antireflectivo</p>	<p>Este tipo de vidrios permite la transmitancia de hasta el 96% de la radiación solar, una pérdida de 3% por reflexión, así mismo 1% de absorción, de manera que existe una diferencia entre el vidrio común.</p>	
	<p>Vidrio común</p>	<p>Este tipo de vidrios permite la transmitancia de hasta el 91% de la radiación solar, una pérdida de 8% por reflexión, así mismo 1% de absorción, en comparación con el vidrio antireflectivo el coste es significativamente menor.</p>	

5	<p>Posición vertical</p>	<p>La posición de los colectores en paredes verticales (incluyendo mirando al norte) tienen poca utilidad en el Perú, debido a la limitada radiación solar incidente sobre estas paredes durante casi todo el año.</p>	
	<p>Posición inclinada</p>	<p>Para inclinaciones de la pared, de 10 ° a 20 ° respecto de la vertical, la eficiencia mejora la captación de la radiación solar disponible.</p>	
6	<p>Conductor de salida</p>	<p>Existe una gama de tuberías que permiten el paso del flujo de aire, en función a sus características y considerando la temperatura y la conducción del aire caliente, se opta por un material sencillo como PVC.</p>	

Fuente: Elaborado por los investigadores

3.3. Conceptos de solución

A. Concepto de solución 1 (CS 1)

Este concepto utiliza un tubo simple que permite el flujo de aire frío de la habitación al colector, el cual recibirá el calor mediante transferencia de la placa de una sola exposición, donde el flujo de aire, es regulado en el interior por un medio poroso, el sistema presenta un aislamiento con el exterior de vidrio común y una posición vertical para el flujo de aire por diferencia de densidad hacia el interior de la habitación mediante el conducto superior.

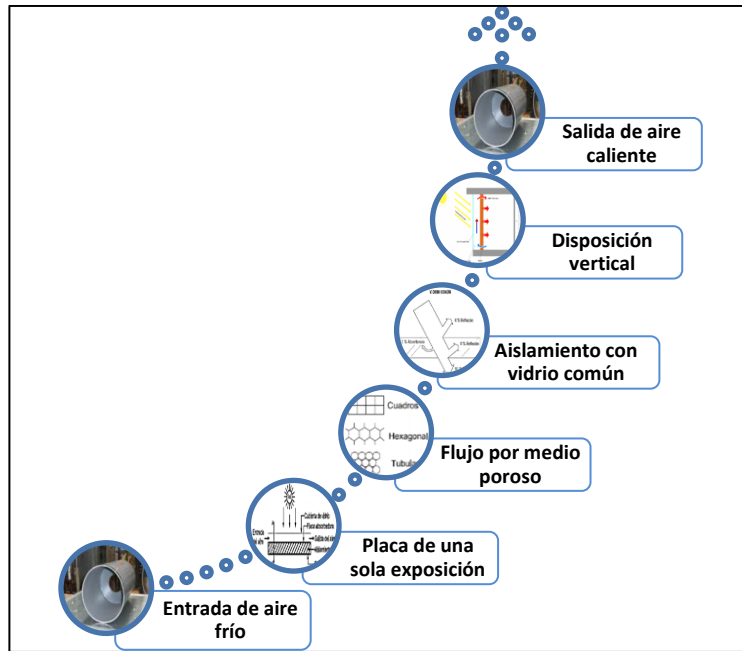


Figura 25: Concepto de solución 1
 Fuente: Elaborado por los investigadores

B. Concepto de solución 2 (CS 2)

Este concepto utiliza un tubo simple que permite el flujo de aire frío de la habitación al colector, el cual recibirá el calor mediante transferencia de la placa, pero en doble exposición, presentando un flujo lento del fluido debido a la placa no porosa corrugada, la cual ofrece una mayor resistencia a la circulación en su interior, el sistema presenta un aislamiento con el exterior de vidrio común y una posición inclinada para el flujo de aire por diferencia de densidad hacia el interior de la habitación mediante el conducto superior.

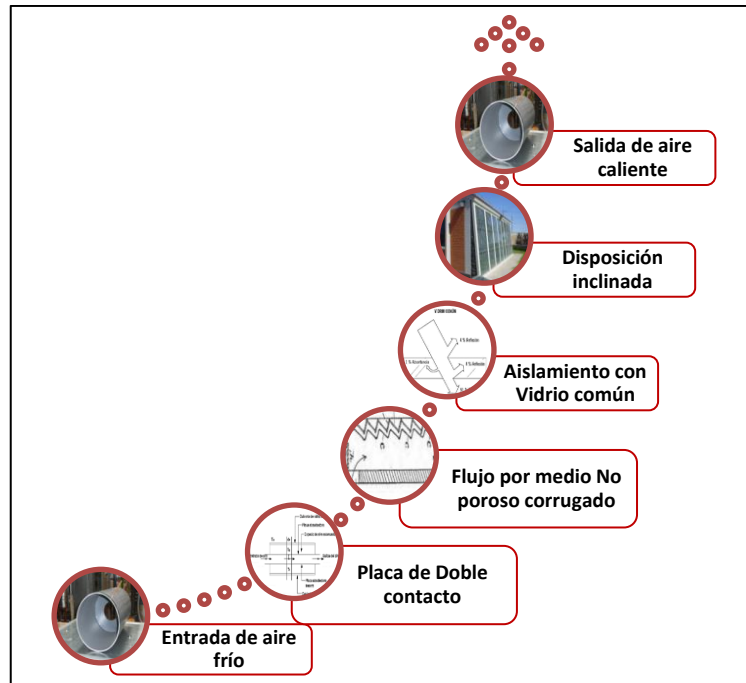


Figura 26: Concepto de solución 2
Fuente: Elaborado por los investigadores

C. Concepto de solución 3 (CS 3)

Este concepto utiliza un tubo simple que permite el flujo de aire frío de la habitación al colector, el cual recibirá el calor mediante transferencia de la placa de doble contacto, presentando un flujo laminar del fluido debido a la placa no poroso plana la cual ofrece una menor resistencia a la circulación en su interior, el sistema presenta un aislamiento con el exterior de vidrio antireflectivo y una posición vertical para el flujo de aire por diferencia de densidad hacia el interior de la habitación mediante el conducto superior.

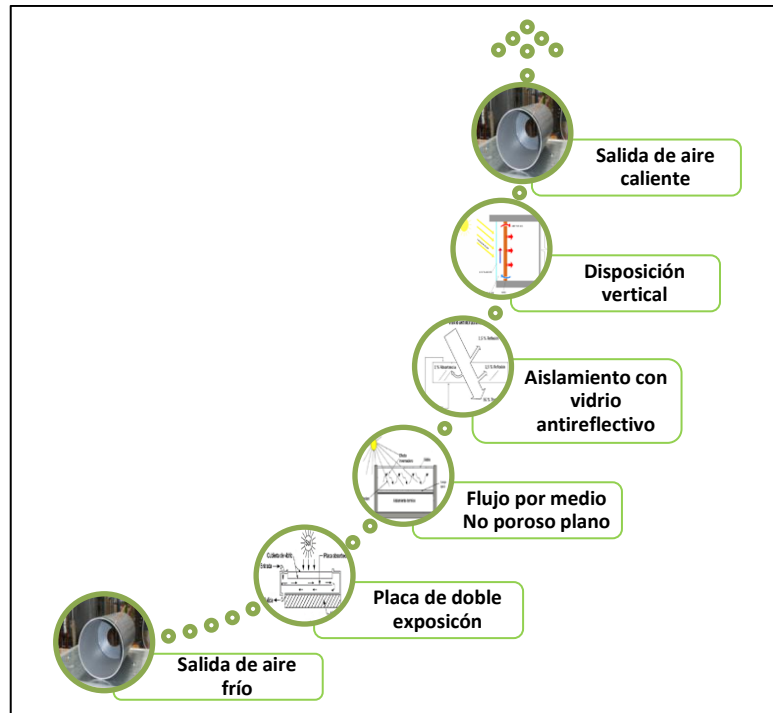


Figura 27: Concepto de solución 3
Fuente: Elaborado por los investigadores

3.4. Determinación del concepto de solución óptima

Criterios ponderados

A continuación, se presenta la evaluación de los conceptos de solución con la finalidad de determinar el concepto de solución óptima con base a los criterios técnicos económicos, para ello utilizamos la denominada matriz de solución.

❖ Valor técnico

- Aspecto 1 (A1) : Ambiental
- Aspecto 2 (A2) : Social
- Aspecto 3 (A3) : Económico
- Aspecto 4 (A4) : Técnico

Los criterios están valorizados en 1 como mínimo y con 5 como máximo.

Valor técnico = Suma ponderada / Puntaje máximo

Tabla 4: Análisis de Alternativas

ASPECTOS	SUB CRITERIO	CRITERIO	DESCRIPCIÓN	Análisis de alternativa			
				CS 1	CS 2	CS 3	
Ambiental	Temperatura confort	18°C < x < 22 °C	Favorable	3	5	4	
		< 18 °C	No favorable				
	Uso de energía renovable.	SI	Favorable	5	5	5	
		NO	No favorable				
Social	Tipo de usuario	Urbano	Favorable	3	3	2	
		Rural	Favorable	4	5	3	
	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	SI	Favorable	2	4	3	
		NO	No favorable				
	Público consumidor con poder adquisitivo	Alto	Favorable	6	9	8	
		Medio	Favorable				
		Bajo	Favorable				
Económico	Costo de inversión	≤ 3 000	Favorable	5	7	3	
		> 3000	No favorable				
	Disponibilidad en el mercado	Alto	Favorable	4	4	4	
		Bajo	No favorable				
	Grado de difusión de la tecnología	Alto	Favorable	3	2	2	
Bajo		No favorable					
Técnico	Tiempo de vida útil	> 20 años	Favorable	2	4	4	
		≤ 20 años	No favorable				
	Tiempo de construcción	≤ 3meses	Favorable	5	6	6	
		> 3 meses	No favorable				
	Rendimiento	Alto	Favorable	2	5	4	
		Bajo	No favorable				
	Tiempo que requiere para la calefacción	> 3 h	No favorable	2	4	4	
		< 3h	Favorable				
	Puntuación: 0 a 5				Suma	46	63
				Puntaje máximo	80	80	80
				Valor técnico	0.57	0.79	0.65

Fuente: Elaborado por los investigadores

❖ **Valor económico**

Costo admisible de fabricación = 4 000

Costo ideal = 70% x Costo Admisible = 2 800

Valor económico = Costo ideal / precio aproximado

Tabla 5: Valor económico

	CS 1	CS 2	CS 3
Precio Aproximado	3 420	3500	3620
Valor económico	0.82	0.80	0.77

Fuente: Elaborado por los investigadores

❖ **Evaluación de los conceptos de solución**

Tabla 6: Evaluación de los conceptos de solución

	CS 1	CS 2	CS 3
Valor económico	0.82	0.80	0.77
Valor técnico	0.57	0.79	0.65

Fuente: Elaborado por los investigadores

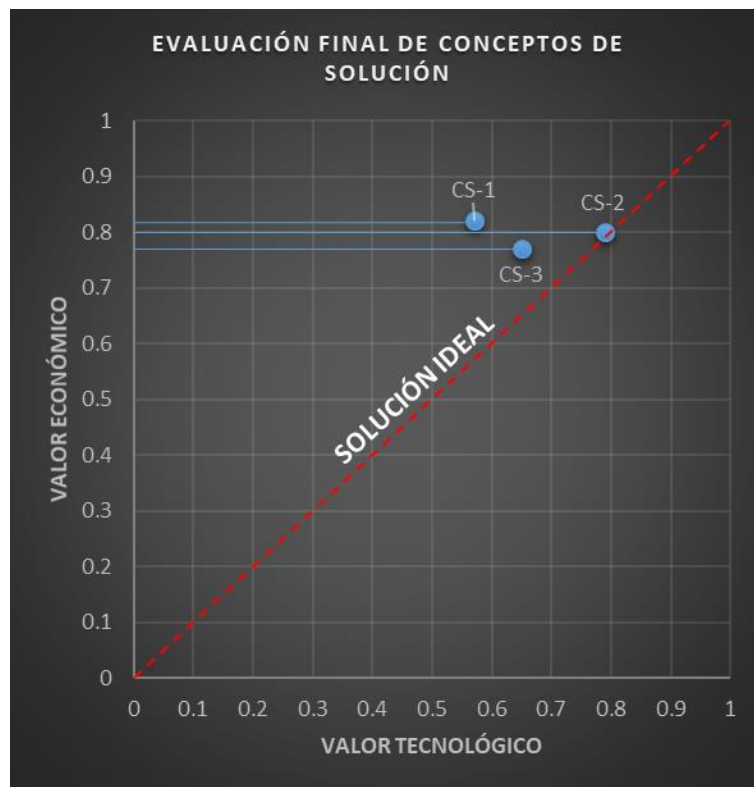


Figura 28: Evaluación final de los conceptos de solución

Fuente: Elaborado por los investigadores

Elaborado la matriz morfológica, se continuó con el análisis técnico – económico el cual permitió realizar una valoración técnica y económica de las soluciones propuestas con la intención de valorarlas cuantitativamente y de esta manera elegir la alternativa más adecuada. De acuerdo al criterio de evaluación técnica, los resultados arrojaron que la alternativa 1 alcanzó un valor de 0.57; la alternativa 2 un valor de 0.79 y la alternativa 3 el valor de 0.65. De la misma manera se realizó el análisis mediante el criterio de la evaluación económica del cual se obtuvo un valor de 0.82 para la alternativa 1; de 0.80 para la alternativa 2 y de 0.77 para la alternativa 3. Siguiendo con la metodología de Zwicky, se procedió a colocar estos tres puntos como coordenadas en una gráfica, se realizó una aproximación lineal y se analizó que el concepto de solución 2 se aproxima más a la recta por lo que, constituye nuestra Solución Óptima.

3.1.4 Método de optimización

Existen diversas tecnologías que hacen frente a las bajas temperaturas de diversas zonas alto andinas por lo cual el método de decisión multicriterio constituye una herramienta básica para la toma de decisiones en el mundo global, el presente trabajo se centra en la aplicación del método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) de Hwang y Yoon el método TOPSIS intenta elegir alternativas que simultáneamente tienen la distancia más corta de la solución ideal positiva y la distancia más alejada de la solución ideal negativa. Lo positivo se conoce como solución ideal la cual maximiza los criterios de beneficios y minimiza el costo, mientras que la contraparte se conoce como solución ideal negativa en la cual se maximiza el costo y se minimizan los criterios de beneficios (61).

La solución ideal y anti-ideal, son soluciones artificiales. En este sentido, la solución ideal contiene a todos los valores de los criterios que pertenecen a los valores óptimos de las alternativas; la solución anti-ideal es la solución que agrupa a todos los valores de los criterios que conciernen a los valores menos deseados de cada criterio de la calificación de las alternativas (61).

A. Algoritmo del método TOPSIS

A continuación, se presenta un esquema en el que se sintetizan los pasos para el desarrollo del método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) (61).

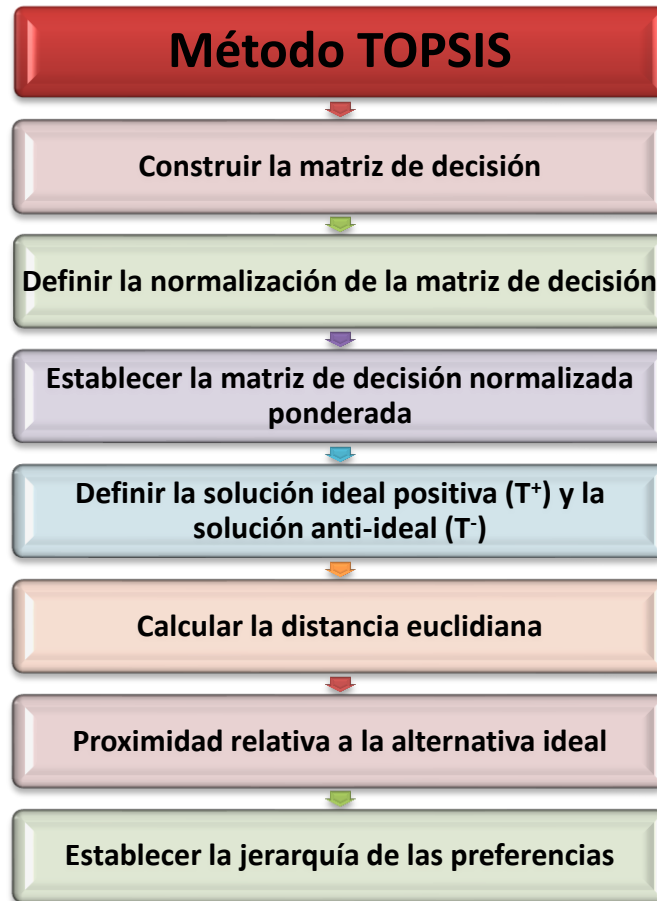


Figura 29: Pasos del método TOPSIS (61)

Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla

B. Construcción de la matriz de decisión

El método TOPSIS evalúa la siguiente matriz de decisión (Tabla X) que se refiere a m alternativas A_i , $i = 1, 2, \dots, m$ las cuales son evaluadas según n criterios C_j , $j = 1, 2, \dots, n$, asociando un peso w_j a cada uno de ellos.

Tabla 7: Matriz de decisión TOPSIS

	w ₁	w ₂	...	w _j	...	w _n
	C ₁	C ₂	...	C _j	...	C _n
A ₁	r ₁₁	r ₁₂		r _{1j}		r _{1n}
A ₂	r ₂₁	r ₂₂		r _{2j}		r _{2n}
⋮						
A _i						
⋮						
A _m	r _{m1}	r _{m2}		r _{mj}		r _{mn}

Fuente: Elaborado por los investigadores

Donde r_{ij} denota la valoración de la i -ésima alternativa en términos del j -ésimo criterio. A la hora de seleccionar un vector de pesos que pondere cada una de las alternativas en función de la opinión de los decisores, tendremos varios posibles métodos.

Tabla 8: Matriz de decisión TOPSIS – Conceptos de solución

Criterio	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	Temperatura confort	Costo de inversión
CS1	5	7	5	8	10	7	9
CS2	8	8	9	6	4	10	8
CS3	6	8	6	6	6	8	6
	mín	máx	máx	máx	mín	máx	mín
Pesos	0.20	0.10	0.20	0.10	0.10	0.20	0.10

*Donde CS1, CS2 y CS3 son los conceptos de solución.

Fuente: Elaborado por los investigadores

C. Normalización de la matriz de decisión

Aplicamos la normalización a nuestra matriz de decisión mediante:

$$v_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (r_{ij})^2}}, \forall j = 1, 2, \dots, n$$

Norma del vector	11.18034	13.30413	11.91638	11.6619	12.32883	14.59452	13.45362
------------------	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------

Tabla 9: Normalización de la matriz de decisión

Criterio	Tiempo que requiere para a calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	Temperatura confort	Costo de inversión
CS1	0.45	0.53	0.42	0.69	0.81	0.48	0.67
CS2	0.72	0.60	0.76	0.51	0.32	0.69	0.59
CS3	0.54	0.60	0.50	0.51	0.49	0.55	0.45

Fuente: Elaborado por los investigadores

D. Construcción de la matriz de decisión normalizada ponderada

Normalizado la matriz procedemos a ponderar según los pesos asignados a cada criterio. Cada valor normalizado ponderado v_{ij} de la matriz en cuestión V se calcula como el producto entre cada w_j por cada v_{ij} , $j= 1, 2, \dots n$; $i= 1, 2, \dots, m$.

Para definir el vector de pesos tenemos diferentes alternativas, en primer lugar, estudiaremos las más comunes de ellas en el método ELECTRE, a los que llamaremos ponderación 1 y ponderación 2, y posteriormente el método de ponderación AHP. En el cuestionario dado se les pide que evalúen cada criterio de 0 a 10 según su importancia (siendo 10 la máxima).

Tabla 10: Pesos asignados por cada usuario a los distintos criterios

Criterio	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	EXPERTO 4	EXPERTO 5	EXPERTO 6	EXPERTO 7	EXPERTO 8
Tiempo que requiere para a calefacción	6	7	7	4	5	6	8	7
Tiempo de vida útil	8	3	9	7	6	5	6	10
Rendimiento	8	10	10	9	7	4	6	8
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	7	8	9	9	7	7	7	10
Grado de difusión de la tecnología	3	9	8	4	6	7	6	10
Temperatura confort	7	5	7	10	10	9	10	6
Costo de inversión	6	10	8	10	10	9	10	6

Fuente: Elaborado por los investigadores

La primera fórmula que usaremos para ponderar los pesos será la siguiente:

$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{m=1}^n v_j}$$

Y con ella obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 11: Matriz de ponderación 1

Criterio	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	EXPERTO 4	EXPERTO 5	EXPERTO 6	EXPERTO 7	EXPERTO 8	MEDIA
Tiempo que requiere para calefacción	0.13	0.13	0.12	0.08	0.10	0.14	0.16	0.12	0.12
Tiempo de vida útil	0.18	0.06	0.16	0.13	0.12	0.11	0.12	0.18	0.13
Rendimiento	0.18	0.19	0.17	0.17	0.14	0.09	0.12	0.14	0.15
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	0.16	0.15	0.16	0.17	0.14	0.16	0.14	0.18	0.16
Grado de difusión de la tecnología	0.07	0.17	0.14	0.08	0.12	0.16	0.12	0.1	0.13
Temperatura confort	0.16	0.10	0.12	0.19	0.16	0.14	0.16	0.11	0.14
Costo de inversión	0.13	0.19	0.14	0.19	0.20	0.20	0.20	0.11	0.17

Fuente: Elaborado por los investigadores

La segunda vendrá definida como:

$$w_j = \frac{v_j^2}{\sum_{m=1}^n v_j^2}$$

Y arroja los siguientes valores:

Tabla 12: Matriz de ponderación 2

Criterio	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	EXPERTO 4	EXPERTO 5	EXPERTO 6	EXPERTO 7	EXPERTO 8	MEDIA
Tiempo que requiere para calefacción	0.12	0.11	0.10	0.04	0.07	0.12	0.17	0.10	0.10
Tiempo de vida útil	0.21	0.02	0.17	0.11	0.10	0.09	0.09	0.21	0.12
Rendimiento	0.21	0.23	0.20	0.18	0.14	0.05	0.09	0.13	0.16
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	0.16	0.15	0.17	0.18	0.14	0.17	0.13	0.21	0.16

Grado de difusión de la tecnología	0.03	0.19	0.13	0.04	0.10	0.17	0.09	0.21	0.12
Temperatura confort	0.16	0.06	0.10	0.23	0.18	0.12	0.17	0.07	0.14
Costo de inversión	0.12	0.23	0.13	0.23	0.28	0.28	0.26	0.07	0.20

Fuente: Elaborado por los investigadores

Reordenando ambos métodos de ponderación:

Ponderación 1

$$w_j = \frac{v_j}{\sum_{m=1}^n v_j}$$

Tabla 13: Matriz de ponderación 1 - Ordenada

Criterio	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	EXPERTO 4	EXPERTO 5	EXPERTO 6	EXPERTO 7	EXPERTO 8	MEDIA
Costo de inversión	0.13	0.19	0.14	0,19	0.2	0.2	0.2	0.11	0.17
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	0.16	0.15	0.16	0.17	0.14	0.16	0.14	0.18	0.16
Rendimiento	0.18	0.19	0.17	0.17	0.14	0.09	0.12	0.14	0.15
Temperatura confort	0.16	0.1	0.12	0.19	0.16	0.14	0.16	0.11	0.14
Tiempo de vida útil	0.18	0.06	0.16	0,13	0.12	0.11	0.12	0.18	0.13
Grado de difusión de la tecnología	0.07	0.17	0.14	0.08	0.12	0.16	0.12	0.1	0.13
Tiempo que requiere para a calefacción	0.13	0.13	0.12	0.08	0.1	0.14	0.16	0.12	0.12

Fuente: Elaborado por los investigadores

Ponderación 2

$$w_j = \frac{v_j^2}{\sum_{m=1}^n v_j^2}$$

Tabla 14: Matriz de ponderación 2 – Ordenada

Criterio	EXPERTO 1	EXPERTO 2	EXPERTO 3	EXPERTO 4	EXPERTO 5	EXPERTO 6	EXPERTO 7	EXPERTO 8	MEDIA
Costo de inversión	0.12	0.23	0.13	0.23	0.28	0.28	0.26	0.07	0.20
Prevención de enfermedades	0.16	0.15	0.17	0.18	0.14	0.17	0.13	0.21	0.16

respiratorias por heladas									
Rendimiento	0.21	0.23	0.20	0.18	0.14	0.05	0.09	0.13	0.16
Temperatura confort	0.16	0.06	0.10	0.23	0.18	0.12	0.17	0.07	0.14
Tiempo de vida útil	0.21	0.02	0.17	0.11	0.10	0.09	0.09	0.21	0.12
Grado de difusión de la tecnología	0.03	0.19	0.13	0.04	0.10	0.17	0.09	0.21	0.12
Tiempo que requiere para a calefacción	0.12	0.11	0.10	0.04	0.07	0.12	0.17	0.10	0.10

Fuente: Elaborado por los investigadores

Podemos observar que ambas ponderaciones presentan muy pocas diferencias en los pesos que asignan a cada criterio, de hecho, la clasificación que obtenemos según la media de cada decisor queda exactamente igual. Veamos qué ocurre con el método AHP.

Con el fin de calcular un peso para cada criterio, el método AHP comienza creando una matriz de comparación A . La matriz A es una matriz real $m \times m$ donde m es el número de criterios de nuestro problema. Cada valor de la matriz a_{jk} representa la importancia relativa del criterio j con respecto al k . Si $a_{jk} > 1$, entenderemos que el criterio j tiene más importancia que k , si por el contrario $a_{jk} < 1$ el criterio j es menos importante que k . Para criterios con la misma importancia $a_{jk} = 1$, incluyendo los valores de la diagonal de la matriz $j = k$.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Además, los valores de la matriz tienen que cumplir el axioma de reciprocidad, a saber:

$$a_{jk} \cdot a_{kj} = 1$$

Por lo que el número de comparaciones que un usuario deberá realizar en este paso serán:

$$\frac{m \cdot m - m}{2}$$

que corresponden a cualquiera de las dos diagonales (inferior o superior) de la matriz, siendo la diagonal opuesta calculada por el mencionado axioma de reciprocidad.

Los valores con los que se rellenará dicha matriz serán valores numéricos extraídos de las comparaciones realizadas por los usuarios. Estos valores formarán parte de una escala numérica comprendida desde 1 hasta 9, cuyo significado en términos de importancia relativa se recogen en la siguiente tabla. Aunque solo se recoge la interpretación para cinco valores, el usuario podrá escoger valores intermedios. Hay que tener en cuenta que las clasificaciones de los usuarios pueden contener inconsistencias, aunque estas no generan mayor problema siempre que se encuentren en un intervalo razonable.

Tabla 15: Valores Saaty para criterios

Valor de a_{jk}	Interpretación
1	j y k son igual de importantes
3	j es ligeramente más importante que k
5	j es más importante que k
7	j es considerablemente más importante que k
9	j es absolutamente más importante que k

Fuente: Elaborado por los investigadores

Una vez construida la matriz A , el paso siguiente para sintetizar los datos es obtener a partir de ella la matriz normalizada A_{norm} , igualando a la unidad la suma de los valores de cada columna. Cada valor esta matriz se calcula como:

$$\hat{a}_{jk} = \frac{a_{jk}}{\sum_{l=1}^m a_{lk}}$$

$$\begin{matrix} & C1 & C2 & \dots & C_m \\ \begin{pmatrix} 1/\sum C1 & a_{12}/\sum C2 & \dots & a_{1n}/\sum C_m \\ a_{21}/\sum C1 & 1/\sum C2 & \dots & a_{2m}/\sum C_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}/\sum C1 & a_{m2}/\sum C2 & \dots & 1/\sum C_m \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Una vez calculada esta matriz, el vector de pesos de criterio w se obtiene calculando el valor medio de cada columna de A_{norm} :

$$w_j = \frac{\sum_{l=1}^m \hat{a}_{jl}}{m}$$

Para obtener el vector de pesos en el método AHP debemos comparar los criterios entre sí según la importancia dada por cada decisor. Dichas comparaciones fueron recogidas en la tabla del cuestionario, que se reproduce a continuación:

Tabla 16: Comparación de métodos del cuestionario

Tiempo que requiere para a calefacción	Tiempo de vida útil	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grado de difusión de la tecnología	Temperatura confort	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Costo de inversión	Tiempo que requiere para a calefacción	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo de vida útil	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rendimiento	Grado de difusión de la tecnología	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura confort	Costo de inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo que requiere para a calefacción	Rendimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo de vida útil	Grado de difusión de la tecnología	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Temperatura confort	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grado de difusión de la tecnología	Tiempo que requiere para a calefacción	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temperatura confort	Tiempo de vida útil	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Costo de inversión	Rendimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Tiempo que requiere para a calefacción	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo de vida útil	Costo de inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo que requiere para la calefacción	Temperatura confort	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grado de difusión de la tecnología	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tiempo de vida útil	Rendimiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Costo de inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rendimiento	Temperatura confort	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Grado de difusión de la tecnología	Costo de inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Fuente: Elaborado por los investigadores

Para no hacer la explicación demasiado farragosa, a continuación, mostraremos las evaluaciones de cada usuario traspasadas directamente a la matriz A y el valor final de los pesos de los criterios, en lugar de todos los cuestionarios contestados. También se mostrará para cada matriz A el valor de su razón de consistencia para evaluar si las comparaciones realizadas son consistentes o no.

Tabla 17: Matriz de experto 1

Experto 1	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	T° confort	Costo de inversión
Tiempo que requiere para la calefacción	1.00	0.17	0.20	0.14	3.00	0.14	3.00
Tiempo de vida útil	6.00	1.00	4.00	0.50	7.00	0.20	6.00
Rendimiento	5.00	0.25	1.00	0.25	4.00	0.20	4.00
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	7.00	2.00	4.00	1.00	8.00	0.33	7.00
Grado de difusión de la tecnología	0.33	0.14	0.25	0.13	1.00	0.11	0.50
Temperatura confort	7.00	5.00	5.00	3.00	9.00	1.00	7.00
Costo de inversión	0.33	0.17	0.25	0.14	2.00	0.14	1.00

Fuente: Elaborado por los investigadores

$RC = 0,09517359 < 0,1$, matriz consistente.

Tabla 18: Matriz de experto 2

Experto 2	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	T° confort	Costo de inversión
Tiempo que requiere para la calefacción	1.00	0.33	0.20	0.17	2.00	0.14	0.13
Tiempo de vida útil	3.00	1.00	0.20	0.33	2.00	0.17	0.20

Rendimiento	5.00	5.00	1.00	1.00	5.00	0.25	0.25
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	6.00	3.00	1.00	1.00	6.00	0.50	0.25
Grado de difusión de la tecnología	0.50	0.50	0.20	0.17	1.00	0.14	0.11
Temperatura confort	7.00	6.00	4.00	2.00	7.00	1.00	0.33
Costo de inversión	8.00	5.00	4.00	4.00	9.00	3.00	1.00

Fuente: Elaborado por los investigadores

$RC = 0,09942091 < 0,1$, matriz consistente.

Tabla 19: Matriz de experto 3

Experto 3	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	T° confort	Costo de inversión
Tiempo que requiere para la calefacción	1.00	0.11	0.20	0.20	1.00	1.00	0.50
Tiempo de vida útil	9.00	1.00	3.00	5.00	3.00	8.00	7.00
Rendimiento	5.00	0.33	1.00	3.00	5.00	2.00	3.00
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	5.00	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00	5.00
Grado de difusión de la tecnología	1.00	0.33	0.20	0.33	1.00	2.00	0.50
Temperatura confort	1.00	0.13	0.50	0.20	0.50	1.00	0.50
Costo de inversión	2.00	0.14	0.33	0.20	2.00	2.00	1.00

Fuente: Elaborado por los investigadores

$RC = 0,06096792 < 0,1$, matriz consistente.

Tabla 20: Matriz de experto 4

Experto 4	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	T° confort	Costo de inversión
Tiempo que requiere para la calefacción	1.00	0.20	0.20	0.17	0.33	0.11	0.14
Tiempo de vida útil	5.00	1.00	0.20	0.17	4.00	0.14	0.14
Rendimiento	5.00	5.00	1.00	0.33	5.00	0.50	0.50
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	6.00	6.00	3.00	1.00	7.00	0.50	0.50
Grado de difusión de la tecnología	3.00	0.25	0.20	0.14	1.00	0.13	0.11
Temperatura confort	9.00	7.00	2.00	2.00	8.00	1.00	1.00
Costo de inversión	7.00	7.00	2.00	2.00	9.00	1.00	1.00

Fuente: Elaborado por los investigadores

$RC = 0,08294019 < 0,1$, matriz consistente.

Tabla 21: Matriz de experto 5

Experto 5	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	T° confort	Costo de inversión
Tiempo que requiere para la calefacción	1.00	0.33	0.20	0.17	2.00	0.14	0.13
Tiempo de vida útil	3.00	1.00	0.20	0.33	2.00	0.17	0.20
Rendimiento	5.00	5.00	1.00	1.00	5.00	0.25	0.25
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	6.00	3.00	1.00	1.00	6.00	0.50	0.25
Grado de difusión de la tecnología	0.50	0.50	0.20	0.17	1.00	0.14	0.11

Temperatura confort	7.00	5.00	4.00	4.00	9.00	3.00	1.00
Costo de inversión	8.00	5.00	4.00	4.00	9.00	3.00	1.00

Fuente: Elaborado por los investigadores

$RC = 0,06096792 < 0,1$, matriz consistente.

Tabla 22: Matriz de experto 6

Experto 6	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	T° confort	Costo de inversión
Tiempo que requiere para la calefacción	1.00	0.50	0.50	0.33	3.00	0.33	0.17
Tiempo de vida útil	2.00	1.00	0.50	1.00	4.00	0.50	0.20
Rendimiento	2.00	2.00	1.00	0.33	3.00	0.50	0.25
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	3.00	1.00	3.00	1.00	3.00	0.50	0.25
Grado de difusión de la tecnología	0.33	0.25	0.33	0.33	1.00	0.20	0.14
Temperatura confort	3.00	2.00	2.00	2.00	5.00	1.00	0.25
Costo de inversión	6.00	5.00	4.00	4.00	7.00	4.00	1.00

Fuente: Elaborado por los investigadores

$RC = 0,05114897 < 0,1$, matriz consistente.

Tabla 23: Matriz de experto 7

Experto 7	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	T° confort	Costo de inversión
------------------	---	---------------------	-------------	--	------------------------------------	------------	--------------------

Tiempo que requiere para la calefacción	1.00	5.00	7.00	1.00	6.00	1.00	0.50
Tiempo de vida útil	0.20	1.00	4.00	0.20	0.33	0.17	0.13
Rendimiento	0.14	0.25	1.00	0.33	0.50	0.14	0.13
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	1.00	5.00	3.00	1.00	4.00	0.33	0.13
Grado de difusión de la tecnología	0.17	3.00	2.00	0.25	1.00	0.20	0.13
Temperatura confort	1.00	6.00	7.00	3.00	5.00	1.00	0.33
Costo de inversión	2.00	8.00	8.00	8.00	8.00	3.00	1.00

Fuente: Elaborado por los investigadores

$RC = 0,0916719 < 0,1$, matriz consistente.

Tabla 24: Matriz de experto 8

Experto 8	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	T° confort	Costo de inversión
Tiempo que requiere para la calefacción	1.00	0.20	3.00	0.33	3.00	3.00	2.00
Tiempo de vida útil	5.00	1.00	5.00	1.00	5.00	8.00	5.00
Rendimiento	0.33	0.20	1.00	0.14	1.00	3.00	0.20
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	3.00	1.00	7.00	1.00	3.00	7.00	7.00
Grado de difusión de la tecnología	0.33	0.20	1.00	0.33	1.00	3.00	1.00
Temperatura confort	0.33	0.13	0.33	0.14	0.33	1.00	0.33
Costo de inversión	0.50	0.20	5.00	0.14	1.00	3.00	1.00

Fuente: Elaborado por los investigadores

$RC = 0,07162487 < 0,1$, matriz consistente.

Afortunadamente todas las matrices son consistentes (aunque algunas por un estrecho margen) por lo que no debemos revisar o desechar ningún dato.

Tabla 25: Ponderación AHP

	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Media
Tiempo que requiere para la calefacción	0.05	0.11	0.04	0.02	0.03	0.06	0.18	0,12	0.08
Tiempo de vida útil	0.17	0.03	0.41	0.06	0.06	0.10	0.04	0.33	0.15
Rendimiento	0.10	0.15	0.20	0.13	0.13	0.10	0.03	0.05	0.11
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	0.23	0.24	0.17	0.20	0.13	0.13	0.11	0.31	0.19
Grado de difusión de la tecnología	0.02	0.10	0.06	0.03	0.03	0.03	0.05	0.07	0.05
Temperatura confort	0.39	0.03	0.05	0.27	0.24	0.17	0.19	0.03	0.17
Costo de inversión	0.03	0.34	0.07	0.27	0.38	0.41	0.39	0.09	0.25

Fuente: Elaborado por los investigadores

A continuación, se muestra dos figuras que permiten evaluar los datos de manera gráfica.

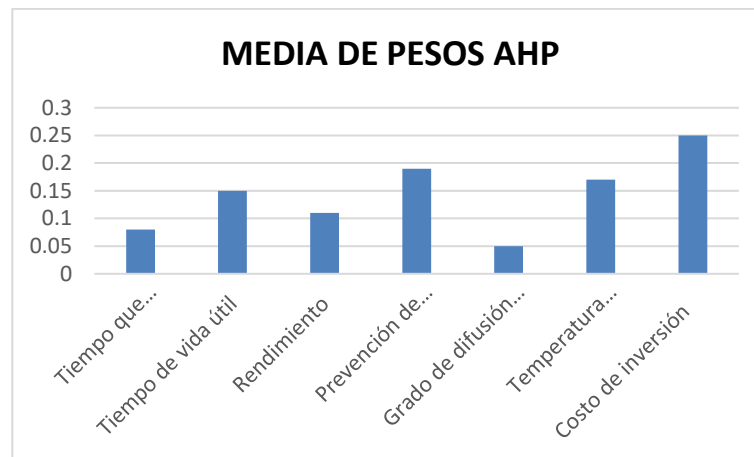


Figura 30: Media de pesos AHP
Fuente: Elaborado por los investigadores

En la figura 30 podemos observar la gran importancia que el conjunto de expertos da al costo de inversión (0,25) cinco veces más que al grado de difusión de la tecnología

(0,05) y aproximadamente tres veces mayor que el segundo menos valorado, el tiempo que requiere para la calefacción (0,08) el resto de criterios se mueven en un razonable intervalo.

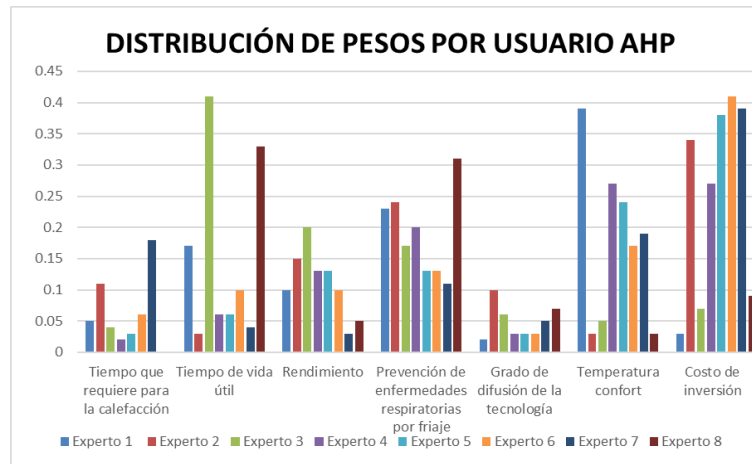


Figura 31: Distribución de pesos por usuario AHP
Fuente: Elaborado por los investigadores

En esta figura se distingue cómo existen criterios para los que la valoración son muy parecidas, mientras que otros como Tiempo de vida útil, temperatura de confort o incluso costo de inversión obtienen valores más alto de manera destacada.

Tabla 26: Orden de importancia de criterios según ponderación

Criterio	AHP	Ponderaciones
Tiempo que requiere para la calefacción	6	7
Tiempo de vida útil	4	5
Rendimiento	5	3
Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	2	2
Grado de difusión de la tecnología	7	6
Temperatura confort	3	4
Costo de inversión	1	1

Fuente: Elaborado por los investigadores

Podemos observar cómo se producen variaciones en el orden de importancia de los criterios según AHP y las ponderaciones.

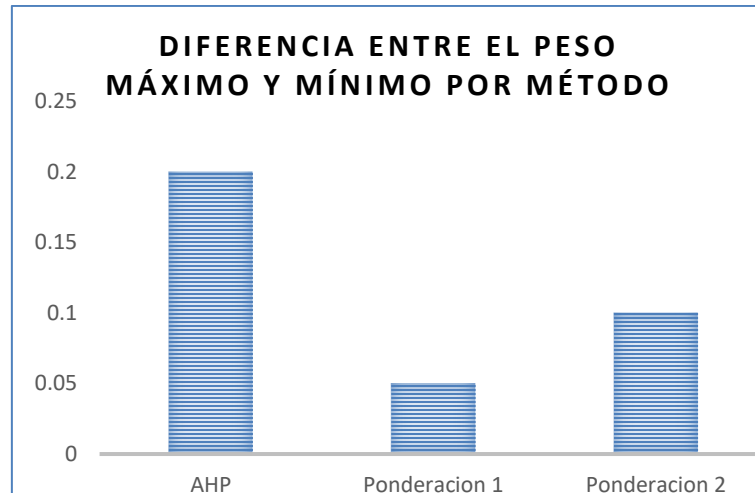


Figura 32: Diferencia entre el peso máximo y mínimo por método
Fuente: Elaborado por los investigadores

En la figura 32 podemos observar la mayor diferencia entre pesos según los distintos criterios de ponderación.

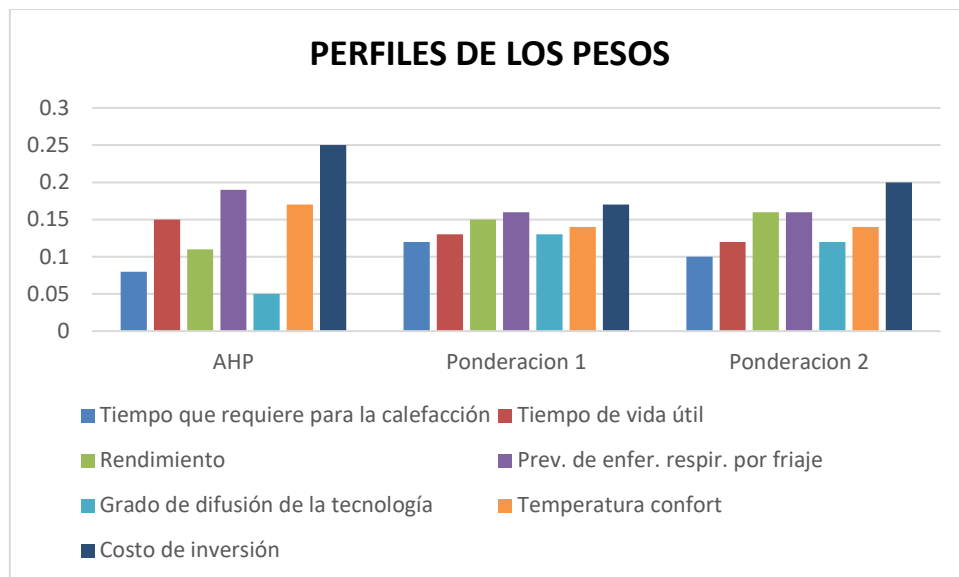


Figura 33: Perfiles de los pesos según métodos de cálculo
Fuente: Elaborado por los investigadores

En la figura 33 se nota como el método AHP introduce mayor varianza entre los pesos de criterios de ambas ponderaciones.

Al presentarse dicho resultado en el que las alternativas son similares entre sí, se ha considerado conveniente ponderar según un método que introduzca mayor varianza entre los criterios. El método elegido finalmente es el de ponderación AHP.

A continuación, se adjunta la matriz normalizada ponderada.

Tabla 27: Matriz normalizada ponderada

Criterio	Tiempo que requiere para a calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	Temperatura confort	Costo de inversión
CS1	0.09	0.05	0.08	0.07	0.08	0.10	0.07
CS2	0.14	0.06	0.15	0.05	0.03	0.14	0.06
CS3	0.11	0.06	0.10	0.05	0.05	0.11	0.04

Fuente: Elaborado por los investigadores

E. Determinación de la solución ideal positiva (T+) y la solución anti-ideal (T-)

Se determinó el conjunto de valores ideal positivo A⁺ y el conjunto de valores ideal negativo A⁻

Tabla 28: Ideal positivo e ideal negativo por criterio

Criterios	Tiempo que requiere para la calefacción	Tiempo de vida útil	Rendimiento	Prevención de enfermedades respiratorias por heladas	Grado de difusión de la tecnología	T° confort	Costo de inversión
	mín	máx	máx	máx	mín	máx	mín
CS1	0.09	0.05	0.08	0.07	0.08	0.10	0.07
CS2	0.14	0.06	0.15	0.05	0.03	0.14	0.06
CS3	0.11	0.06	0.10	0.05	0.05	0.11	0.04
A ⁺	0.09	0.06	0.15	0.07	0.03	0.14	0.04
A ⁻	0.14	0.05	0.08	0.05	0.08	0.10	0.07

Fuente: Elaborado por los investigadores

El conjunto de valores ideal positivo A⁺ y el conjunto de valores ideal negativo A⁻ se determinan como sigue:

$$\begin{aligned} \overline{A^+} &= \{\overline{A_1^+}, \overline{A_2^+}, \dots, \overline{A_n^+}\} = \left\{ \left(\max_i \overline{v_{ij}}, j \in J \right) \left(\min_i \overline{v_{ij}}, j \in J' \right) \right\}; i = 1, 2, \dots, m \\ \overline{A^-} &= \{\overline{A_1^-}, \overline{A_2^-}, \dots, \overline{A_n^-}\} = \left\{ \left(\min_i \overline{v_{ij}}, j \in J \right) \left(\max_i \overline{v_{ij}}, j \in J' \right) \right\}; i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

Donde J está asociado con los criterios que representan atributos deseables y J' está asociado con los criterios que representan atributos indeseables. En nuestro caso, todos

los criterios son deseables, ya que el precio (costo) se ha evaluado de manera positiva por los decisores en caso de ser un precio más bajo y negativamente en caso de ser un precio más alto.

F. Cálculo de las medidas de la distancia euclidiana

La distancia de cada alternativa de la solución ideal positiva A^+ viene dada como:

$$\overline{d}_i^+ = \sqrt{\sum_j (\overline{v}_{ij} - \overline{A}_j^+)^2}$$

y la correspondiente a la distancia de la solución ideal negativa A^- se toma como:

$$\overline{d}_i^- = \sqrt{\sum_j (\overline{v}_{ij} - \overline{A}_j^-)^2}$$

En el presente trabajo hemos tomado $p=2$ para obtener la distancia euclidiana m -multidimensional.

Ayudándonos del ideal positivo y el ideal negativo obtenidos anteriormente se determina la distancia de cada criterio de solución.

Tabla 29: Distancia de cada criterio de solución al ideal positivo y negativo

Criterios	d_i^+	d_i^-
CS 1	0.10	0.06
CS 2	0.06	0.09
CS 3	0.06	0.06

Fuente: Elaborado por los investigadores

Podemos distinguir que el criterio de solución 2 tiene menor distancia al ideal positivo, pero sin embargo no la mayor respecto al ideal negativo, por lo que se tiene que calcular la proximidad relativa a ambas para poder jerarquizar las alternativas.

G. Cálculo de la proximidad relativa de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa

Esto se obtiene, como se dijera, con el ratio de similaridad, que puede expresarse como sigue:

$$RS_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}; i = 1, 2, \dots, m$$

Si $RS_i = 1$, A_i entonces es igual a A^+ (Solución Ideal). Si $RS_i = 0$, entonces A_i es igual a A^- (Solución Anti-ideal). Es decir, que cuanto más próximo es el valor del ratio a 1, indica una mayor prioridad de la alternativa i -ésima.

Aplicando el coeficiente anteriormente explicado obtendremos el ratio de similaridad teniendo en cuenta tanto a la distancia ideal positivo (la menor posible) como la distancia al ideal negativo (la mayor posible) nos proporcionará valores necesarios para establecer la clasificación de los criterios de solución según cada decisor, el resultado es el siguiente:

Tabla 30: Proximidad relativa de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa.

Criterios	RSi
CS 1	0.37
CS 2	0.62
CS 3	0.47

Fuente: Elaborado por los investigadores

H. Ordenamiento de alternativa de acuerdo a su proximidad relativa

Simplemente se ordenan las alternativas de acuerdo con el ratio, en orden descendente de acuerdo a la media ponderada de los ratios de similaridad para cada criterio de solución y así se obtienen la clasificación final.

Tabla 31: Clasificación final TOPSIS

Criterios	Clasificación
CS 2	1
CS 3	2
CS 1	3

Fuente: Elaborado por los investigadores

3.1.5 Propuesta del diseño de prototipo tecnológico

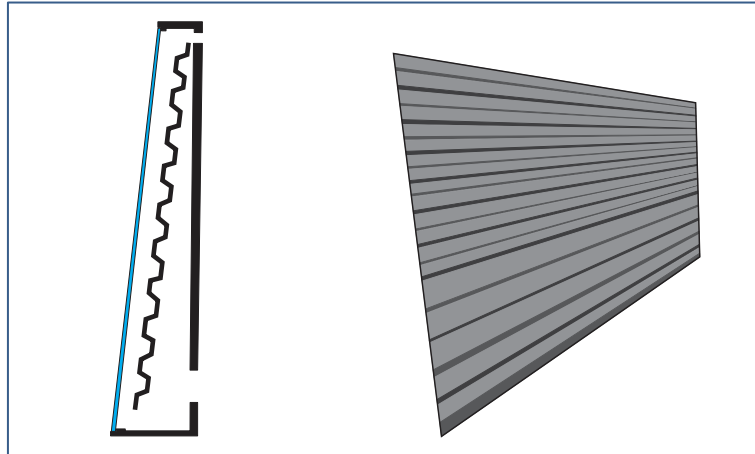


Figura 34: Vista de perfil del acero corrugado del sistema de colector solar térmico de aire.

Fuente: Elaborado por los investigadores

La figura 34 muestra la variación de la forma original del acero, con la finalidad de reducir la velocidad de flujo de aire para una mayor permanencia dentro del colector e incrementar su temperatura.

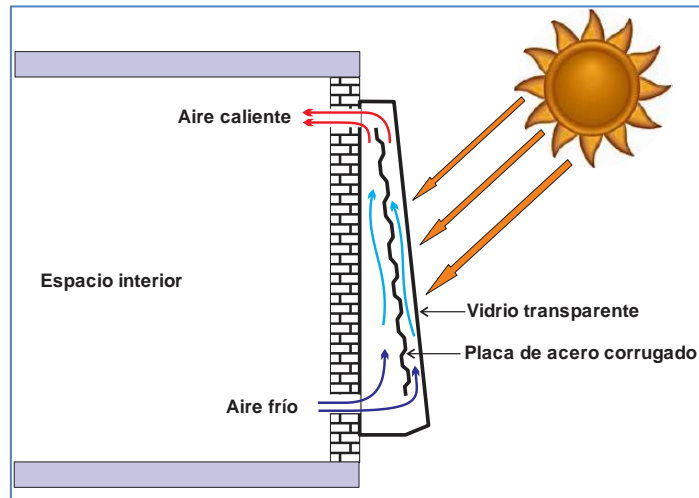


Figura 35: Sistema de funcionamiento del sistema de colector solar térmico de aire.

Fuente: Elaborado por los investigadores

La figura 35 muestra la circulación del aire por diferencia de densidad, donde el aire frío ingresa al colector solar, éste se calienta y retorna al ambiente con mayor temperatura.

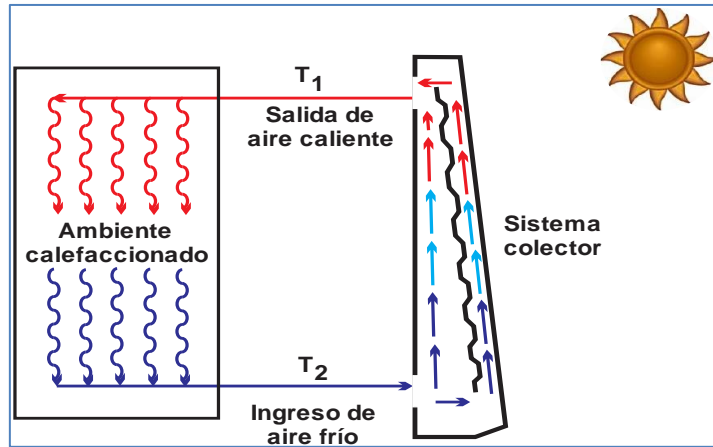


Figura 36: Flujo de aire en el sistema de colector térmico solar.
Fuente: Elaborado por los investigadores

La figura 36 indica el flujo de aire resaltando en ingreso al colector solar con una menor temperatura y retornando al ambiente con mayor temperatura.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1. Ubicación geográfica del ambiente de investigación

Geográficamente el lugar de ejecución del proyecto está en la provincia de Huancayo entre los $12^{\circ} 2'36.41''$ latitud Sur y en los $75^{\circ}13'57.49''$ longitud Oeste y una altitud de 3257 metros sobre el nivel del mar.



Figura 37: Ubicación Nacional y Regional del ambiente de investigación.
Fuente: Elaborado por los investigadores

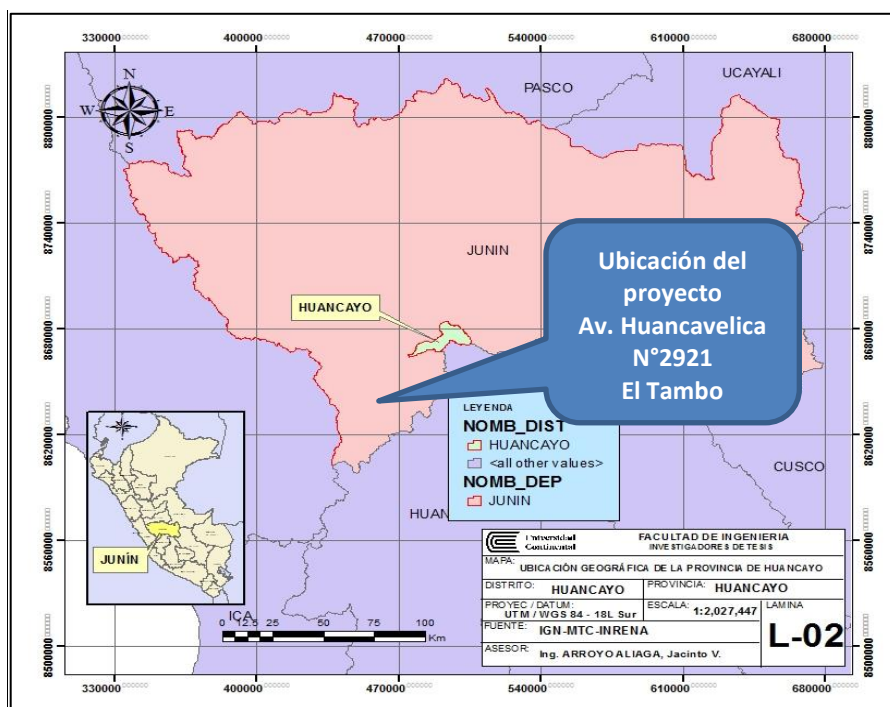


Figura 38: Ubicación Provincial geográfica del ambiente de investigación.
Fuente: Elaborado por los investigadores

4.2. Descripción de la vivienda de investigación

La vivienda de investigación se ubica en la Av. Huancavelica N° 2921 del distrito de El Tambo, los ambientes son de material noble, donde la habitación experimental presenta las dimensiones de 3,75 m x 4.06 m x 3.0 m, tiene tres ventanas correderas de diversas medidas, una puerta metálica.

4.3. Plan operativo

En el plan operativo se establecen los procesos que involucran el diseño y construcción del calefactor solar térmico y las actividades como se tiene en el siguiente cuadro.

Tabla 32: Procesos de diseño, construcción y operación.

N°	IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS	DESCRIPCIÓN	ACTIVIDADES
1	Evaluación de proyecto	<ul style="list-style-type: none"> En este proceso se evaluó las alternativas existentes para dar solución al problema como son el calefactor de aire, considerado en el concepto de solución 1, concepto de solución 2 y concepto de 	<ul style="list-style-type: none"> Determinación de alternativas de para el diseño. Determinación de los criterios para la evaluación Identificación de los valores establecidos para cada alternativa.

		solución 3, las cuales cumplen la misma función con diferentes características según las dimensiones de evaluación que se detallan en el capítulo III.	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de alternativas para el diseño.
2	Diseño del colector solar térmico de Aire	<ul style="list-style-type: none"> • En este proceso se determinó los parámetros de diseños como son: temperatura promedio ambiental; área; volumen; velocidad de vientos; transmitancia térmica de los muros, puertas, ventanas, columnas, vigas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Toma de datos para el diseño de la estructura. • Búsqueda de información en la norma técnica EM 110 Confort térmico
3	Construcción del colector solar de Aire	<ul style="list-style-type: none"> • En este proceso se hace referencia de los procedimientos para la construcción del calefactor solar térmico, teniendo consideración las especificaciones de diseño, establecidos un proceso anterior. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medición y Cortado de los materiales. • Ensamblado y Soldadura las partes fijas • Taladrado las partes desmontables • Esmerilado de las soldaduras y masillado • Pintado y limpieza
4	Empotrado del colector solar térmico	<ul style="list-style-type: none"> • En este proceso se realizó el empotrado del calefactor solar térmico en la pared de la habitación experimental la cual se ubica en una orientación de mayor incidencia de radiación solar. (orientación hacia el norte) 	<ul style="list-style-type: none"> • Perforación de paredes para el Empotrado • Colocar los tubos de entrada y salida del aire hacia el colector solar térmico. • Empotrado del colector solar térmico.
5	Fijación de vidrio y sellado	<ul style="list-style-type: none"> • Una vez empotrado la estructura metálica, se procedió a aislar el colector solar con fibra de vidrio, para luego colocar los vidrios sobre la estructura y sellar herméticamente para evitar la fuga de aire caliente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aislar con fibra de vidrio para evitar la pérdida de calor. • Colocado de vidrio • Fijación y tapado de todas las áreas donde pudiera existir pérdida de calor.
6	Medición	<ul style="list-style-type: none"> • Instalado ya el colector solar térmico, se procedió al registro de campo, para determinar la eficiencia tecnológica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tomado de datos durante los meses de julio y agosto, de la temperatura interna, externa, humedad y radiación.

Fuente: Elaborado por los investigadores

FLUJOGRAMA DE PROCESOS DE LA COSTRUCCIÓN DEL COLECTOR SOLAR TÉRMICO

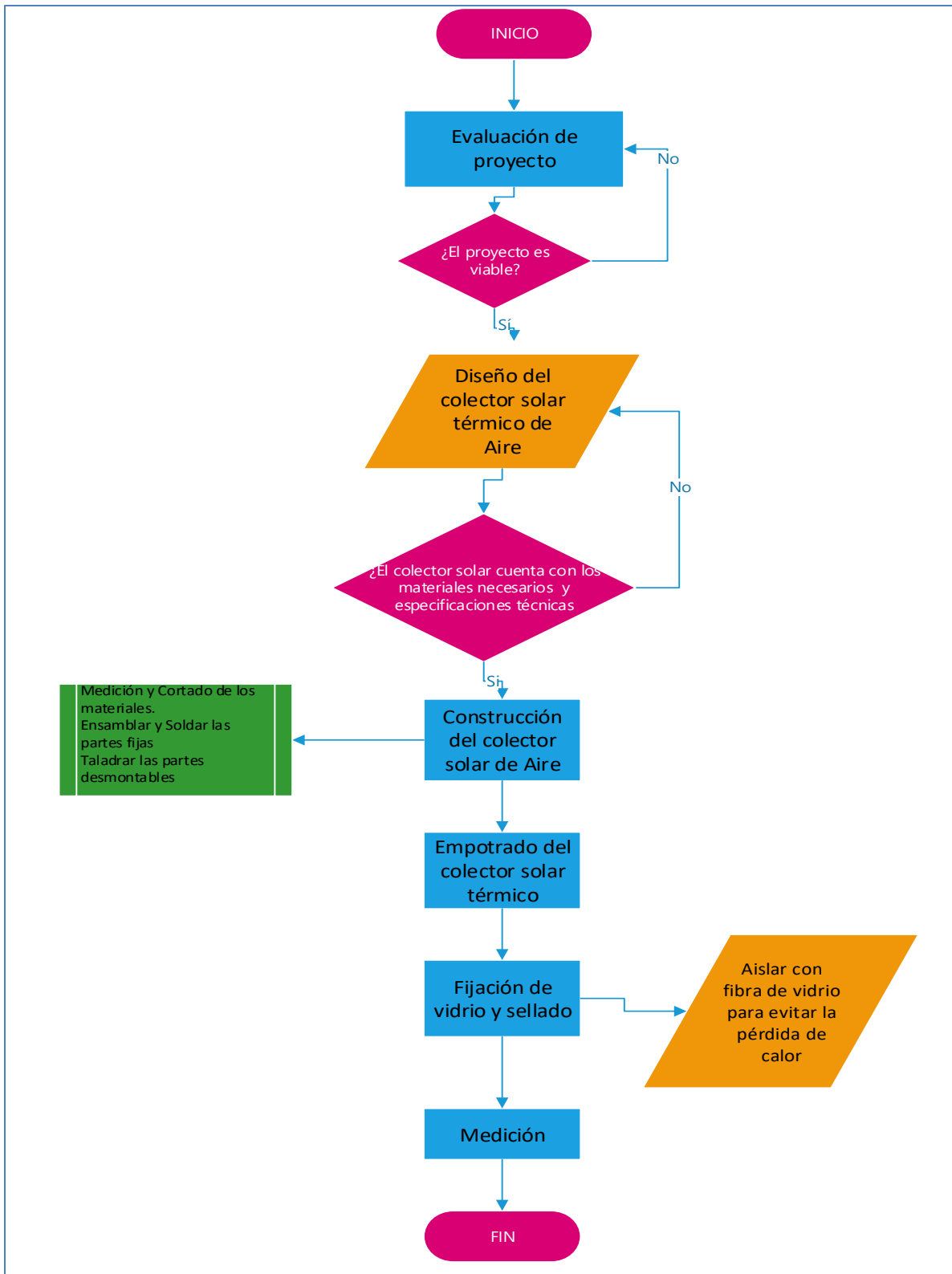


Figura 39: Diagrama de flujo del proceso de construcción del colector térmico solar de aire.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

4.4. Plan económico

Tabla 33: Costos directos del colector solar térmico de aire.

Ítem	Denominación	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Total
1	Plancha LAF 0.85x1.20.2.40 (1/27")	pulg	07	61.20	428.40
2	Corte y canalado de las planchas	m	18	5.30	95.40
3	Pintura negro mate	gl	01	65.00	65.00
4	Thiner	gl	01	15.00	15.00
5	Masilla Bonflex	gl	1/4	7.50	7.50
6	Latex pato negro	gl	01	54.00	54.00
7	Barniz para tratar las planchas	gl	1/2	22.00	22.00
8	Trapo de limpieza de los metales	u	02	3.00	6.00
9	Limpiavidrios	l	01	7.50	7.50
10	Paño de microfibra	m	01	9.00	9.00
11	Lijas 320	u	02	3.00	6.00
12	Brocas	u	2	17.95	35.90
13	Perno hexagonal 1/2x12 RC g-2	U	8	4.80	38.40
14	Tirafon 3/8x2 zincado todo	U	3	0.50	1.50
15	Silicona SIKACRIL (alta temperatura)	U	1	27.00	27.00
16	Sika Boom construcción	U	1	29.80	29.80
17	Vidrios incoloro de 2.14x109.5	u	3	76.70	230.00
18	Fibra de vidrio	m	50	2.80	140.00
19	Vidrio triple (1.29x0.18)	m	1	11.00	11.00
20	Vidrio triple perforado (0.20x0.42)	m	1	14.00	14.00
21	Angulo estructural 1 x 1 x 1/8	pulg	3	12.00	36.00
22	Platina 3/4 x1/8	pulg	2	8.00	16.00
23	Electrodo	kg	4	10.00	40.00
24	Disco de corte	u	2	4.80	9.60
25	Disco de desbaste	u	2	3.70	7.40
26	Tubo de 4"	u	1	18.00	18.00
Total					1370.00

Fuente: Elaborado por los investigadores.

Tabla 34: Costos de transporte.

Ítem	Denominación	Descripción	V. Total
1	Transporte de planchas	Distribuidora al taller	25.00
2	Transporte del colector	Del taller al punto de investigación	50.00
3	Transporte de andamio	Alquiler de andamio	20.00
Total			95.00

Fuente: Elaborado por los investigadores.

Tabla 35: Costos de mano de obra.

Ítem	Denominación	Descripción	V. Total
1	Maestro soldador	Soldador de la estructura	500.00
2	Maestro pintor	Pintado del colector	50.00
3	Maestro vidriero	Colocado del vidrio	120.00
Total			670.00

Fuente: Elaborado por los investigadores.

Tabla 36: Costos de equipos y herramientas.

Ítem	Denominación	Descripción	V. Total
1	Alquiler de taller	Construcción del colector	300.00
2	Alquiler de andamios	Alquiler para la instalación	20.00
3	Alquiler de taladro	Perforado de las paredes	30.00
Total			350.00

Fuente: Elaborado por los investigadores.

Tabla 37: Total de costos directos

Ítem	Denominación	V. Total
1	Costo de materiales	1370.00
2	Costo de transporte	95.00
3	Costo de mano de obra	670.00
4	Costo de equipos y herramientas	350.00
Total		2485.00

Fuente: Elaborado por los investigadores.

Costos indirectos por el proceso de ingeniería se considera el 10 a 15% del total de costos directos, asimismo, la utilidad se considera 0% por tener fines de estudio para el proyecto de tesis.

Tabla 38: Costos de ingeniería.

Ítem	Denominación	V. Total
1	Criterios de ingeniería	248.50
Total		248.50

Fuente: Elaborado por los investigadores.

Tabla 39: Costos imprevistos.

Ítem	Denominación	V. Total
1	Imprevistos	150.00
Total		150.00

Fuente: Elaborado por los investigadores.

Tabla 40: Total de costos indirectos

Ítem	Denominación	V. Total
1	Costo de ingeniería	248.50
2	Costo por imprevistos	150.00
3	Costo de utilidad	0.00
Total		398.00

Fuente: Elaborado por los investigadores.

Tabla 41: Total de costos de fabricación.

Ítem	Denominación	V. Total
1	Costos directos	2485.00
2	Costo indirectos	398.00
Total		2883.50

Fuente: Elaborado por los investigadores.

El costo total del colector solar de aire de doble contacto es de s/. 2883.50 (dos mil ochocientos ochenta y tres con 50/100 soles)

4.4.1. Mantenimiento del colector solar

Dentro de la vida útil del colector, el mantenimiento principalmente es preventivo mediante el cual se puede detectar cualquier anomalía y proceder a su inmediata reparación. Por ello se propone un plan de trabajo para el mantenimiento preventivo pudiendo variar dependiendo su tamaño y complejidad, sugiriendo procedimientos en el siguiente cuadro:

Tabla 42: Mantenimiento del colector.

OPERACIÓN	OBSERVACIONES	FRECUENCIA
Colector	Inspección visual	Trimestral
Placa absorbente	Comprobación de aparición de manchas u óxido	
	Deformaciones	
Vidrio	Inspección visual	
Caja	Inspección visual	
Limpieza	Limpieza de los vidrios en horas de baja radiación	
Estructura	Lijar y reparar con pintado aquellas zonas de la estructura que presenten corrosión.	Semestral

Fuente: Catálogo de colectores solares de alto rendimiento.

4.5. Diseño

4.5.1. Prototipo modelado

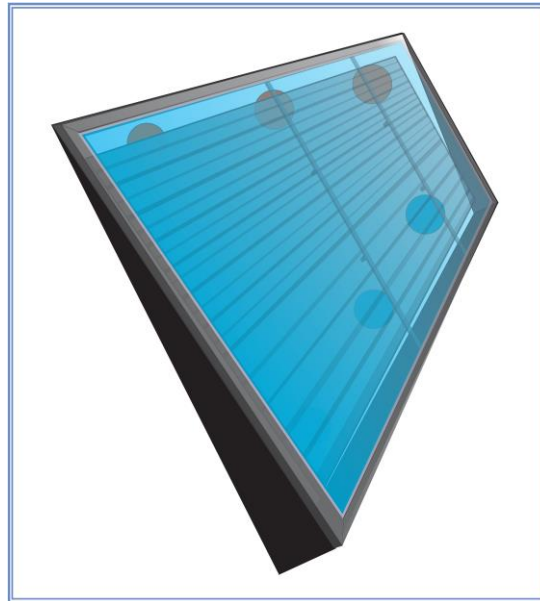


Figura 40: Prototipo modelado

Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 40 muestra el prototipo a implementarse en una vista completa y ensamblada de sus partes

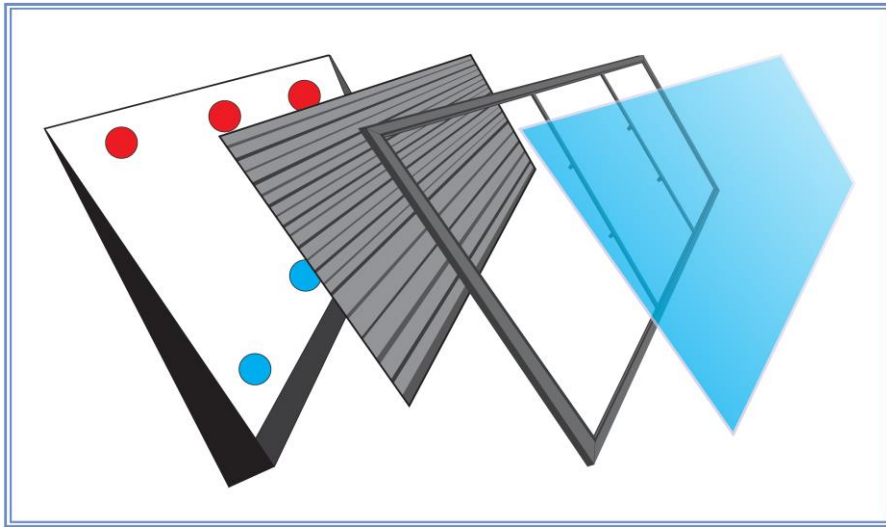


Figura 41: Partes del prototipo modelado.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 41 indica los componentes del colector solar de aire a doble contacto, de izquierda a derecha el armazón la placa colectora, el marco y el material translúcido (vidrio).

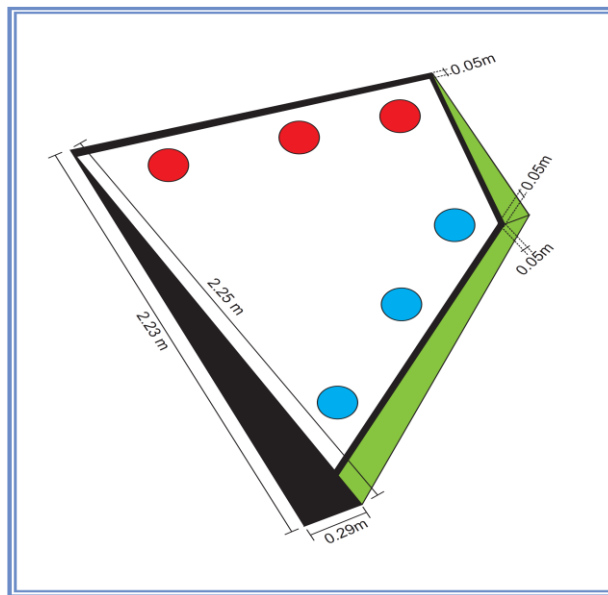


Figura 42: Medidas del prototipo.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 42 muestra las medidas del armazón y los puntos de ingreso (azul) y salida (rojo) del aire frío y aire caliente respectivamente.

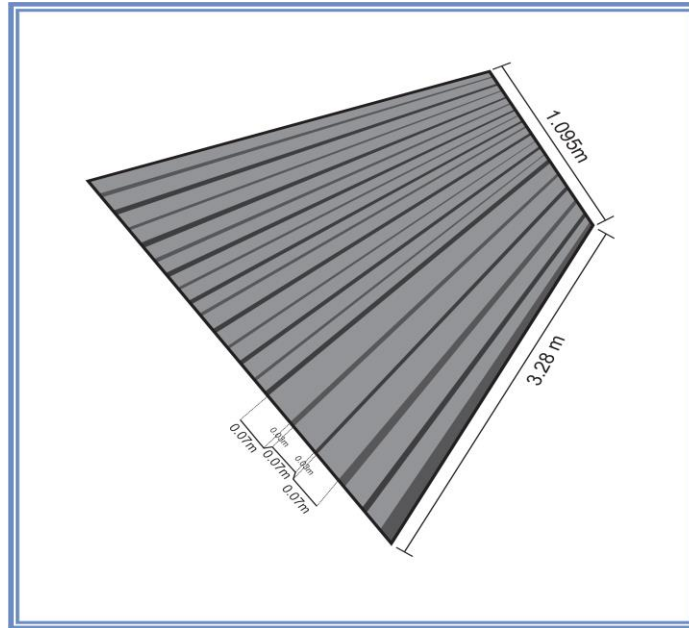


Figura 43: Medidas de la placa metálica.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 43 muestra la placa colectora de acero y sus medidas de corrugado de 7 cm para cada canaleta.

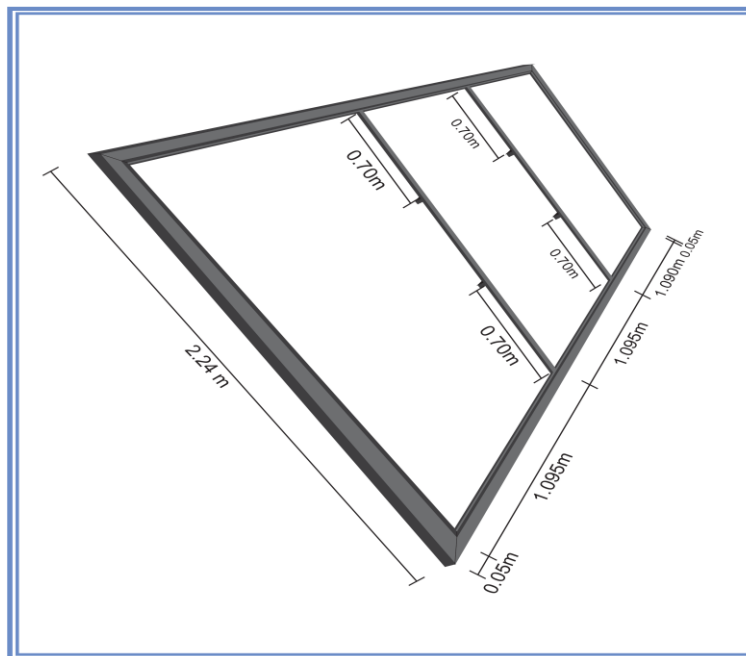


Figura 44: Medidas del marco anterior.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 44 muestra el marco de soporte del vidrio, sus dimensiones totales y de divisiones para un mayor soporte.

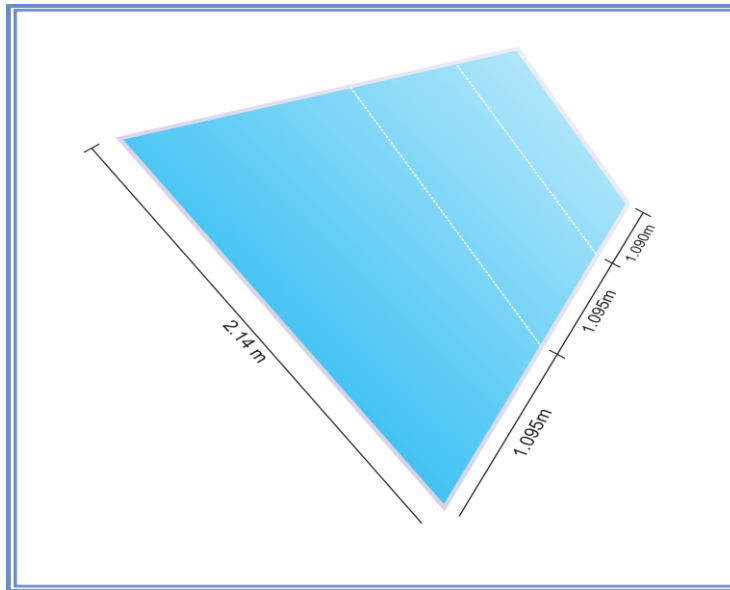


Figura 45: Medidas de las placas vidrio.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 45 muestra las dimensiones del vidrio para un mejor manejo y soporte en el colector solar.

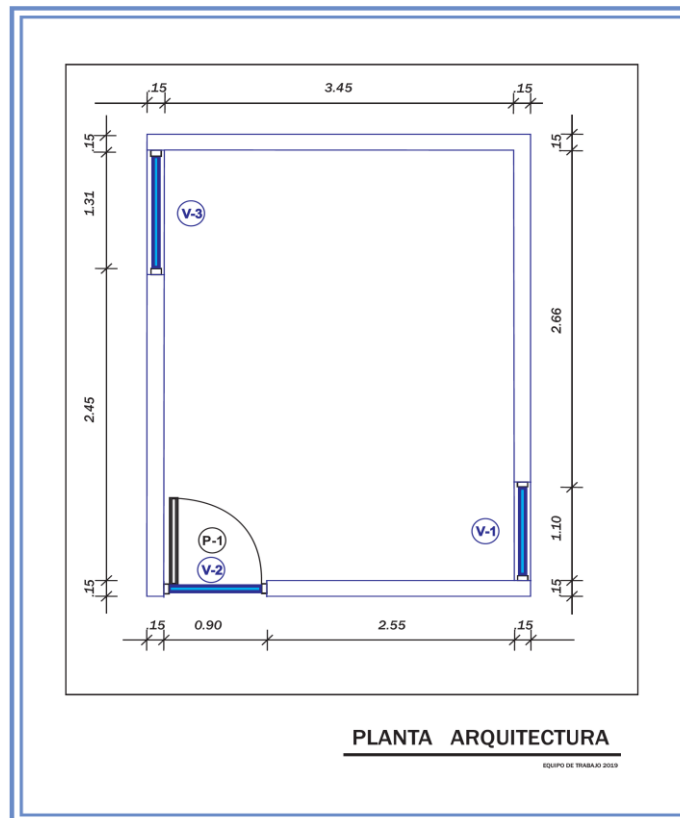


Figura 46: Dimensiones de planta Arquitectónica del ambiente de investigación.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 46 indica las dimensiones de planta del ambiente construido que servirá como lugar de prueba del colector solar de aire.

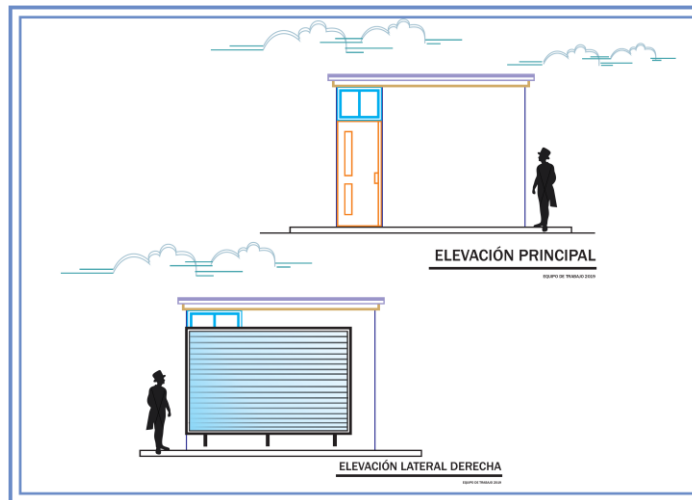


Figura 47: Vista de elevación principal y lateral del ambiente de investigación.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 47 muestra las elevaciones tanto frontal como lateral derecho donde se implementará el colector solar de aire.

4.5.2. Prototipo físico



Figura 48: Vista del colector solar térmico de aire.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 48 muestra la vista frontal del prototipo físico implementado en el lugar y ambiente de investigación.



Figura 49: Vista de perfil del colector solar térmico de aire.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 49 muestra la vista de perfil del prototipo físico implementado en el lugar y ambiente de investigación.



Figura 50: Vista inferior y soporte del colector solar térmico de aire.
Fuente: Elaborado por los investigadores.

La figura 50 muestra la vista inferior y soporte del prototipo físico implementado en el lugar y ambiente de investigación.


CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN




5.1. Construcción

Para la construcción del colector solar térmico de aire se han seguido los siguientes pasos principales:

Tabla 43: Proceso de construcción del colector solar de aire.

PROCESO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
Medición		En base al diseño se procedió a la medición de las piezas metálicas tanto del marco como de la plancha corrugada
Cortado		Una vez medido se procedió al corte de cada una de las piezas del colector.

<p>Ensamblado de marco</p>		<p>Se soldó el marco general del colector para poder unir las piezas internas</p>
<p>Ensamblado de la plancha corrugada</p>		<p>Se unió las planchas corrugadas para formar el material colector de doble contacto del colector solar.</p>
<p>Esmerilado</p>		<p>Se procedió a eliminar las partes gruesas de la soldadura e iniciar el acabados del colector</p>
<p>Masillado</p>		<p>Se corrigió las pequeñas imperfecciones del colector mediante el masillado para un acabado más fino.</p>

<p>Pintado</p>				<p>Pintado de la estructura con el mate de color negro como fuente captador del calor solar.</p>
<p>Aislado</p>				<p>Se aisló con fibra de vidrio el marco para evitar pérdidas de energía</p>
<p>Limpieza</p>				<p>Se procedió con la limpieza para dejar listo para su transporte e instalación</p>

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 43 indica todos los procesos principales seguidos en la construcción del colector solar de aire, detallando la descripción de cada etapa.

5.2. Pruebas y resultados

5.2.1. Calefacción de un ambiente doméstico

5.2.1.1. Descripción del ambiente a calefaccionar

- El ambiente a calefaccionar es la habitación de una vivienda doméstica. Este ambiente tiene un volumen total de 38.92m^3 , ubicada a 3257 m.s.n.m en donde la presión atmosférica media anual es de 68.60 kPa.

- La temperatura experimental medida en el interior del ambiente entre los meses de julio y agosto en promedio es de 20 °C.
- Según datos históricos registrados en el atlas climático de presión y temperatura en la cuenca del río Mantaro la temperatura media anual es de 11.13 °C. Siendo el objetivo principal llegar a la temperatura de confort promedio entre 18 °C a 22 °C.(5)
- El aire en el ambiente doméstico, se calienta por medio de un colector solar térmico de aire. Para determinar la cantidad de energía transferida al aire, a volumen y presión constantes. Se asume las siguientes condiciones:

5.2.1.2. Cálculo de masa de aire en el ambiente

A. Condiciones

- Se aplica la ecuación de gases ideales, debido a que el aire se considera como gas ideal con propiedades constantes.

$$PV = \frac{m}{M}RT; \quad m = \frac{PV\bar{M}}{RT}$$

- La temperatura de diseño (confort) es de 20 °C en promedio.
- El volumen del aire es el volumen del ambiente cerrado.

B. Propiedades del aire

- A la temperatura promedio de $(11.13+20) / 2 = 15.57$ °C Los calores específicos del aire son:

$$C_p = 1.005 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$C_v = 0.7180 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

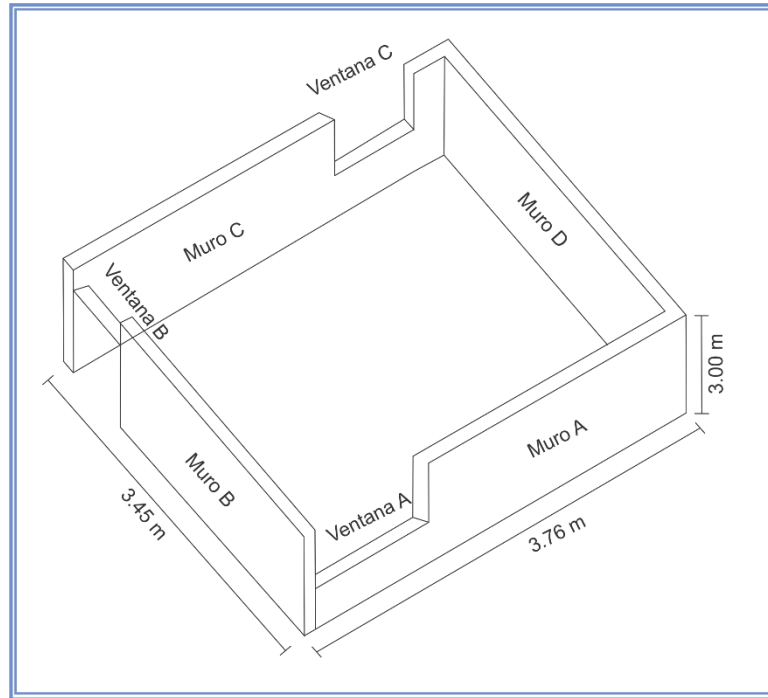


Figura 51: Plano tridimensional del ambiente doméstico.
Fuente: Elaborado por los investigadores

La figura 51 muestra el plano tridimensional del ambiente de investigación con sus respectivas dimensiones.

DATOS:

Tabla 44: Datos de parámetros físico químicos.

N°	DESCRIPCIÓN	DATOS
1	Volumen de ambiente	38.92 m ³
2	Presión atmosférica media anual	68.60 kPa
3	Temperatura promedio	15.57 °C
	Temperatura en K	15.57+273 = 288.57 K
5	Masa molar	28.97 kg/kmol
6	Constante de los gases ideales	8.31447 kPa.m ³ /kmol K
7	Calor específico	1.005 kJ/kg°C

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 44 muestra los datos fisicoquímicos que permiten calcular el balance de energía en el ambiente de investigación.

- Reemplazando en la ecuación de gases ideales, tenemos:

$$m_{aire} = \frac{(68.60 \text{ kPa})(38.92 \text{ m}^3)(28.97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}})}{(8.315 \frac{\text{kPa} \cdot \text{m}^3}{\text{kmol} \cdot \text{K}})(288.57 \text{ K})}$$

$$m_{aire} = 32.235 \text{ kg}$$

5.2.2. Balance de energía del ambiente

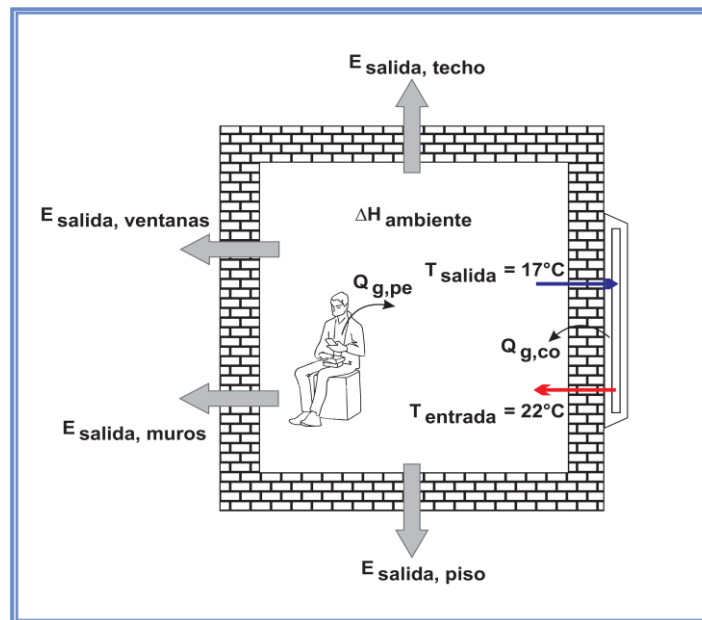


Figura 52: Ambiente doméstico: subsistema y variables.
Fuente: Elaborado por los investigadores

La figura 52 muestra el balance de energía en el ambiente de investigación con una temperatura promedio de salida al colector de 17 °C e ingreso al ambiente de 22 °C.

- Al aplicar el balance de energía al sistema, tenemos:

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{ambiente}$$

- El incremento de la temperatura influye en el incremento de la entalpía en el interior del ambiente:

$$\Delta H_{ambiente} = Q_{entrada} - Q_{salida}$$

- **E_{entrada} (Definición)**

Cantidad de energía a suministrar al interior del sistema:

$$Q_{entrada} = Q_{G,col} + Q_{G,per} + Q_{G,ilu} + Q_{G,elec}$$

$Q_{G,col}$ = Ganacia de calor por el colector.

$Q_{G,per}$ = Ganacia de calor por las personas.

$Q_{G,ilu}$ = Ganacia de calor iluminación.

$Q_{G,ilu}$ = Ganacia de calor por artefactos eléctricos encendidos.

- **E_{salida} (Definición)**

Cantidad de calor que pierde el sistema:

$$Q_{salida} = Q_{P,mu} + Q_{P,ve} + Q_{P,te} + Q_{P,pi} + Q_{P,re} + Q_{P,in}$$

$Q_{P,mu}$ = Calor perdido por los muros.

$Q_{P,ve}$ = Calor perdido por las ventanas.

$Q_{P,te}$ = Calor perdido por el techo.

$Q_{P,pi}$ = Calor perdido por el piso.

$Q_{P,re}$ = Calor perdido por renovación de aire.

$Q_{P,in}$ = Calor perdido por infiltración.

5.2.3. Cálculo del calor generado por el colector ($Q_{G,col}$)

$$Q_{G,col} = m_{aire} * C_{p,aire} * (T_{entrada} - T_{salida})$$

$$Q_{G,col} = 32.235 \text{ kg} * 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (22^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C})$$

$$Q_{G,col} = 161.981 \text{ kJ}$$

5.2.4. Cálculo de la energía útil de calentamiento del aire ($Q_{\text{útil,calefacción}}$)

- Con una masa de aire de 32.235 kg en el interior del ambiente doméstico para elevar la temperatura desde 17 °C hasta 22 °C.

$$Q_{\text{útil,calefacción}} = m_{\text{aire}} * C_{\text{paire}} * (T_{\text{confort}} - T_{\text{inicial}})$$

$$Q_{\text{útil,calefacción}} = 32.235 \text{ kg} * 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (22 - 17) ^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{útil,calefacción}} = 161.981 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{útil,calefacción}} = \frac{161.981 \text{ kJ}}{28800\text{s}} = 0.00562 \text{ kJ/s}$$

INTERPRETACIÓN: 161.981 kJ es la energía necesaria para alcanzar la temperatura de confort máximo de 22 °C (49), esta temperatura se alcanza en un promedio de ocho horas aproximadamente. El aire en el ambiente doméstico se calienta a razón de 0.00562 kJ/s.

5.2.5. Cálculo de las pérdidas de calor por transmisión o transferencia al exterior

Para el cálculo de pérdidas de calor por transmisión se obtuvieron datos de coeficientes de transferencia global de la Norma EM.110 Confort Térmico Y Lumínico con Eficiencia Energética del DS N° 006-2014-VIVIENDA, Reglamento Nacional de Edificaciones. La siguiente tabla muestra los valores de coeficientes de transmisión de calor para la provincia de Huancayo en la región Junín.

Tabla 45: Coeficientes de transmisión de calor.

N°	DESCRIPCIÓN	U (Coeficiente global de transmisión de calor W/m ² K)
1	Transmitancia máxima del muro	2.36
2	Transmitancia máxima del techo	2.21
3	Transmitancia máxima del piso	2.63
4	Puerta hoja de metal vidrio	4.5
5	Vidrio de ventanas (bronce 6mm)	5.7

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 45 muestra los valores de coeficiente globales de transmisión de calor para los diversos componentes del ambiente de investigación.

La cantidad de calor a suministrar por pérdidas de transmisión a través de los cerramientos se calcula mediante la ecuación de las leyes de la transmisión:

$$Q_{\text{cerramientos}} = U \times S \times (T_i - T_e)$$

U: Transmitancia térmica del cerramiento (**W/m² K**)

S: Área del cerramiento (**m²**)

(T_i - T_e): incremento de temperatura entre el interior y exterior (**°C**)

Tabla 46: Tabla de pérdidas de carga térmica al exterior por cerramientos.

N° DATOS	DESCRIPCIÓN	ORIENTACIÓN	ANCHURA	ALTURA	ÁREA	COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN	GRADIENTE DE TEMPERATURA (T° interior - T° exterior)			CARGA TÉRMICA (PÉRDIDA)
			L (m)	H (m)	A (m2)		U (W/m2 K)	T° interior (°C)	T° exterior (°C)	
1	Muro A	N	-	-	9.01	2.36	20	11.13	8.87	188.608
2	Muro B	E	2.55	3	7.65	2.36	20	11.13	8.87	160.139
3	Muro C	S	-	-	8.59	2.36	20	11.13	8.87	179.816
4	Muro D	O	3.45	3	10.35	2.36	20	11.13	8.87	216.659
5	Ventana A	N	1.10	2.06	2.27	5.7	20	11.13	8.87	114.567
6	Ventana B	E	0.9	0.80	0.72	5.7	20	11.13	8.87	36.402
7	Ventana C	S	1.31	2.05	2.69	5.7	20	11.13	8.87	135.776
8	Puerta	E	0.9	2.20	1.98	4.5	20	11.13	8.87	79.032
9	Techo	-	3.45	3.76	12.98	2.21	19.5	11.13	8.37	239.952
10	Piso	-	3.45	3.76	12.98	2.63	19.5	11.13	8.37	285.554
Subtotal										1636.707
10 % de pérdidas										163.671
Total										1800.378 W
										1.800 kW

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 46 muestra el flujo de energía que se pierde por los cerramientos (muros, ventanas, puerta, techo y piso) a razón de 1.8 kW (1800.378w).

5.2.6. Cálculo de pérdida de energía por renovación de aire ($Q_{p, re}$)

- La siguiente ecuación determina el flujo de calor perdido por renovación:

$$Q_{p, re} = m_{ren} * C_p * (T_{interior} - T_{exterior})$$

$$m_{ren} = \text{Flujo másico de aire por renovación } \left(\frac{kg}{s}\right)$$

$$C_p = \text{Calor específico del aire } \left(1.005 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}\right)$$

$T_{interior}$ = Temperatura (diseño) en el interior del ambiente doméstico.

$T_{exterior}$ = Temperatura en el exterior del ambiente (sin climatizar).

ρ = densidad del aire a T° promedio y presión atmosférica local.

- Cálculo de la densidad del aire a condiciones locales:

$$P = 68.60 kPa$$

$$T^{\circ} \text{ media anual} = 11.13^{\circ}C$$

$$P_{aire, 11.13^{\circ}C} = \frac{m_{aire}}{V_{aire}}$$

$$P_{aire, 11.13^{\circ}C} = \frac{32.235 kg}{38.92 m^3}$$

$$P_{aire, 11.13^{\circ}C} = 0.828 \frac{kg}{m^3}$$

- Cálculo del flujo másico del aire de renovación:

$$\text{Velocidad del aire local en promedio: } v_{aire} = 1.38 m/s$$

$$\text{Área de ingreso del aire exterior: } A_{flujo} = 0.027 m^2$$

$$m_{aire, reno} = P_{aire} * A_{flujo} * v_{aire}$$

$$m_{aire, reno} = 0.828 \frac{kg}{m^3} * 0.027 m^2 * 1.38 \frac{m}{s}$$

$$m_{aire, reno} = 0.031 \frac{kg}{s}$$

- El tiempo de renovación de aire será:

$$t_{renv} = \frac{32.235 \text{ kg}}{0.031 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}$$

$$t_{renv} = 1039.839 \text{ s}$$

$$t_{renv} = 17.331 \text{ min}$$

- Reemplazando:

$$Q_{p,re} = m_{ren} * C_p * (T_{interior} - T_{exterior})$$

$$Q_{p,re} = 0.031 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (20^\circ\text{C} - 11.13^\circ\text{C})$$

$$Q_{p,re} = 0.276 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$



INTERPRETACIÓN: 0.276 kW es la razón de flujo de calor perdido del sistema por cada renovación de aire.

5.2.7. Cálculo del calor perdido por infiltración

Se asume que la carga térmica por infiltración es el 30% de la carga térmica de renovación.

$$Q_{p,in} = 0.3 * Q_{renovación}$$

$$Q_{p,in} = 0.3 * 0.276 \text{ kW}$$

$$Q_{p,in} = 0.0828 \text{ kW}$$

5.2.8. Análisis de la ganancia de energía ($Q_{entrada}$)

$$Q_{entrada} = Q_{G,col} + Q_{G,per} + Q_{G,ilu} + Q_{G,elec}$$



$$Q_{G,col} = 161.981 \text{ kW}$$

$$Q_{G,per} = 0; \text{ No hay personas habitando el ambiente.}$$

$$Q_{G,ilu} = 0; \text{ Las luces se mantienen apagadas en las horas de trabajo.}$$

$$Q_{G,elec} = 0; \text{ No hay uso de artefactos en las horas de trabajo.}$$

Por lo tanto:

$$Q_{entrada} = Q_{G,col}$$

5.2.9. Análisis de las pérdidas de energía (Q_{salida})

$$Q_{salida} = Q_{P,mu} + Q_{P,ve} + Q_{P,te} + Q_{P,pi} + Q_{P,re} + Q_{P,in}$$



$$Q_{P,transmisión} = 1.751 \text{ kW.}$$

$Q_{P,re}$ = Variable externa de flujo no constante.

$Q_{P,in}$ = Infiltración de aire por ranuras de la puerta.

POR LO TANTO:

$$Q_{salida} = Q_{P,transmisión} + Q_{P,in}$$

5.2.10. Balance de materia y energía

Al aplicar la fórmula planteada de balance de energía del sistema, tenemos:

$$\Delta E_{ambiente} = E_{entrada} - E_{salida}$$

$$\Delta E_{ambiente} = Q_{G,col} - (Q_{P,transmisión} + Q_{P,in})$$

$$\Delta E_{ambiente} = 161.981 \text{ kJ} - (1.8 \text{ kJ} + 0.0828 \text{ kJ})$$

$$\Delta E_{ambiente} = \mathbf{160.098 \text{ kJ}}$$

La energía total en el ambiente después de 8h (28800 s) de trabajo del colector es de **160.098 kJ**. Este valor es la carga térmica total que se debe transferir al ambiente para mantener la temperatura de confort.

5.2.11. Análisis de acumulación de energía ($\Delta E_{ambiente}$)

- La $\Delta E_{ambiente}$ se expresa en términos de su entalpía $\Delta H_{ambiente}$, debido a que el ambiente doméstico no es del todo cerrado, la puerta posee ranuras por donde se infiltra el aire. El calentamiento del ambiente se realiza a presión constante, por ende:

$$\Delta E_{ambiente} = \Delta H_{ambiente}$$

Tabla 47: Tabla de variación de temperatura del mes de julio.

JULIO					
N° DE MUESTRAS	TIEMPO	TEMPERATURA INTERNA		TEMPERATURA EXTERNA °C	RADIACIÓN
		HABITACIÓN EXPERIMENTAL °C	HABITACIÓN CONTROL °C		
	t(h)	ΔT	ΔT	ΔT	W/m ²
31	08:00	17.47	14.85	11.88	290.35
	10:00	19.24	16.33	17.99	637.81
	12:00	20.77	17.73	24.92	797.88
	02:00	22.09	18.44	28.34	626.41
	04:00	22.23	17.61	24.00	308.01
	06:00	21.21	15.90	17.55	36.49
PROMEDIO JULIO		20.50	16.81	20.78	449.49

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 47 muestra el promedio de la variación de temperatura durante el mes de julio en las diversas horas de control.

Tabla 48: Tabla de variación de temperatura del mes de agosto.

AGOSTO					
N° DE MUESTRAS	TIEMPO	TEMPERATURA INTERNA		TEMPERATURA EXTERNA °C	RADIACIÓN
		HABITACIÓN EXPERIMENTAL °C	HABITACIÓN CONTROL °C		
	t(h)	ΔT	ΔT	ΔT	W/m ²
31	08:00	16.33	13.95	12.82	147.38
	10:00	18.23	15.87	19.25	705.73
	12:00	20.58	17.44	26.16	830.65
	2:00	22.30	18.55	28.69	627.53
	04:00	22.42	18.00	23.94	314.96
	06:00	21.75	16.22	16.81	71.25
PROMEDIO AGOSTO		20.27	16.67	21.28	449.58

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 48 muestra el promedio de la variación de temperatura durante el mes de agosto en las diversas horas de control.

Tabla 49:Tabla de promedio de temperatura interna de los meses julio y agosto.

	HABITACIÓN EXPERIMENTAL °C	HABITACIÓN CONTROL °C
T° INTERNA PROMEDIO (JUL-AGO)	20.39	16.74

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 49 muestra el promedio de temperatura de los meses julio y agosto, en la que se presenta la comparación de la variación de temperatura entre la habitación experimental y la habitación control.

Tabla 50:Tabla de promedio de temperatura interna máxima y mínima.

	HABITACIÓN EXPERIMENTAL	HABITACIÓN CONTROL
PROMEDIO T° INTERNA MÁXIMA	22	18
PROMEDIO T° INTERNA MÍNIMA	17	14

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 50 muestra el promedio de temperatura interna máxima y mínima de la habitación experimental y la habitación control.

Tabla 51:Tabla de condiciones.

CONDICIONES - HABITACIÓN EXPERIMENTAL		
ΔT PROMEDIO = 8h	480 min	28800s
Salto térmico ΔT	5 °C	

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 51 muestra las condiciones de la variación de temperatura en la habitación experimental.

5.2.12. Energía necesaria para alcanzar la temperatura de confort en el ambiente doméstico

- A continuación, se muestra el comportamiento del incremento de la temperatura para diferentes cantidades de energía.

$$Q_{total,calefacción} = m_{aire} * C_{p_{aire}} * (T_{confort} - T_{inicial})^{\circ}C$$

$$Q_{total,calefacción} = 32.235 \text{ kg} * 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}C} * (T_{confort} - 17)^{\circ}C$$

$$T_{confort} = \frac{Q_{total,calefacción}}{32.396 \frac{\text{kJ}}{\circ}C} + 17^{\circ}C$$

Tabla 52: Tabla de energía necesaria para alcanzar la temperatura de confort.

N° de muestras	TIEMPO		$Q_{\text{útil,calefacción}} = 0.00562 \text{ kW}$	T. confort
	Horas	Segundos	Q_(total,calefacción)	°C
1	08:00	3600	20.232	17.63
2		7200	40.464	18.26
3	10:00	10800	60.696	18.89
4		14400	80.928	19.52
5	12:00	18000	101.16	20.15
6		21600	121.392	20.78
7	02:00	25200	141.624	21.41
8		28800	161.856	22.04
9	04:00	32400	182.088	22.67
10		36000	202.32	23.30
11	06:00	39600	222.552	23.93
12		43200	242.784	24.56

Fuente: Elaborado por los investigadores

La tabla 52 muestra el comportamiento de la temperatura a diferentes cantidades de energía a medida que transcurre el tiempo.

5.3. Discusión de resultados

5.3.1. Sistema de hipótesis estadística

Descripción de los datos

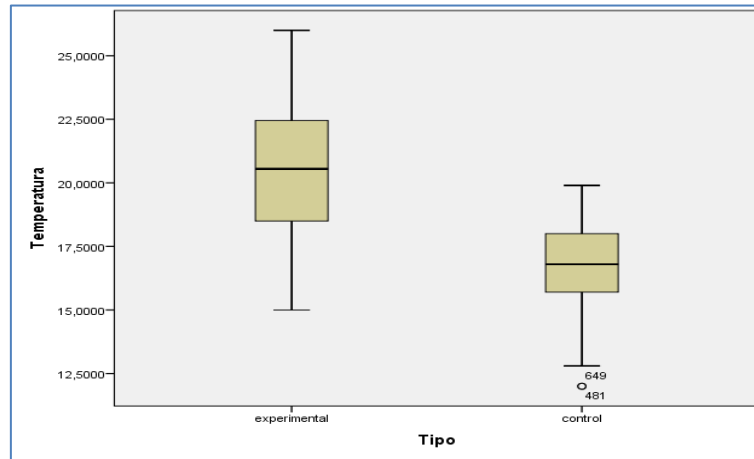


Figura 53: Diagrama de cajas
Fuente: Elaborado por los investigadores

La figura 53 muestra que los datos de temperatura experimental son mayores a los datos de temperatura control, quien presenta dos datos atípicos. **Prueba de hipótesis**

A. Hipótesis de investigación

H₀: La temperatura en la habitación experimental es igual a la temperatura de la habitación control

H₁: La temperatura en la habitación experimental es diferente a la temperatura de la habitación control.

B. Hipótesis estadística

H₀: $\mu_e = \mu_c$

H₁: $\mu_e \neq \mu_c$

• Datos

Se anexa los datos registrados de temperatura interna experimental y control.

• Significancia

Error tipo I = $\alpha = 0.05$

Prueba de normalidad

Se analizó los datos con el programa SPSS.

Resultado

Tabla 53: Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a (n>50)			Shapiro-Wilk (n≤50)		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
T°_EXP_INT	,101	372	,000	,967	372	,000
T°_CONT_INT	,042	372	,167	,986	372	,001

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaborado por los investigadores.

La tabla 53 muestra la prueba de normalidad, teniendo en cuenta que la muestra poblacional ($n > 50$), para el caso experimental el nivel de significancia con la prueba de Kolmogorov-Smirnov es menor a $\alpha = 0.05$ por lo tanto, las distribuciones de los datos no siguen una normal. Entonces, estamos frente a una prueba no paramétrica.

Prueba no paramétrica (U Mann Whitney)

Resultado

Tabla 54: Prueba no paramétrica

Estadísticos de prueba ^a	
	Temperatura
U de Mann-Whitney	16185,000
W de Wilcoxon	85563,000
Z	-18,087
Sig. asintótica (bilateral)	,000

a. Variable de agrupación: Tipo

Fuente: Elaborado por los investigadores.

La tabla 54 muestra los estadísticos de prueba no paramétrica, como la significancia de prueba es igual a 0.000 y este es menor a $\alpha = 0.05$ entonces, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 .

Conclusión

La muestra presenta evidencias para afirmar que la temperatura en la habitación experimental es significativamente diferente a la temperatura de la habitación control. Con un nivel de confianza del 95%.

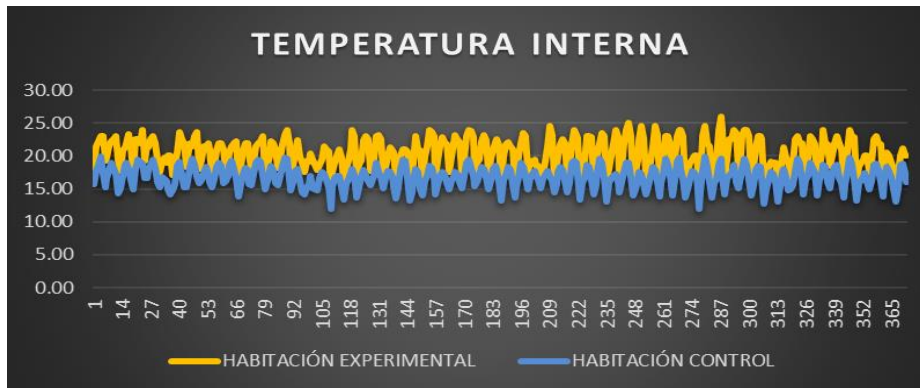


Figura 54: Comparación de temperatura interna habitación experimental y control
Fuente: Elaborado por los investigadores

La figura 54 muestra las diferencias de temperatura interna entre la habitación experimental y control durante los meses de julio y agosto, los resultados indican la eficiencia del colector térmico solar en mejorar el confort de temperatura en la habitación experimental.

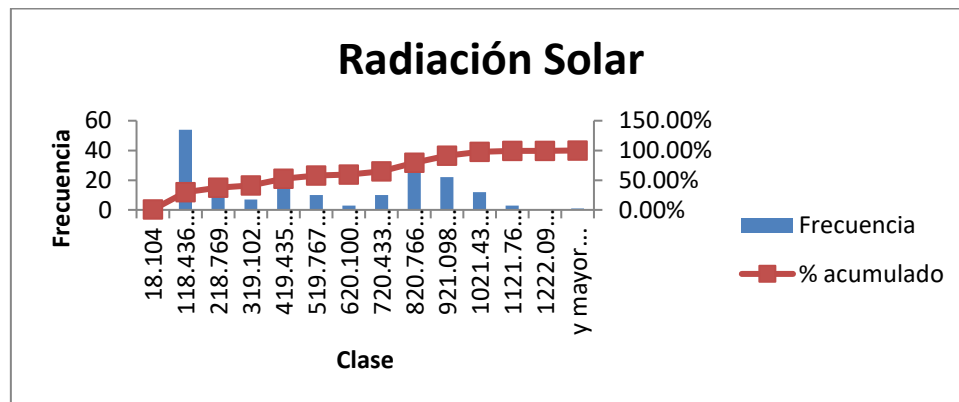


Figura 55: Histograma de la radiación solar durante el tiempo experimental.
Fuente: Elaborado por los investigadores

La figura 55 muestra un comportamiento de la radiación solar durante el tiempo de experimentación observando un comportamiento variable y algunas diferencias significativas, alcanzando picos altos en diversos días del mes de monitoreo.

5.3.2. Discusión de resultados

- El resultado obtenido en la presente investigación presenta un flujo de calor de 0.00562 kJ, el cual permite alcanzar los 18 °C en las dos primeras horas de medición como temperatura mínima de confort, y dentro de las siguientes 6 horas se alcanza la temperatura máxima de confort de 22 °C, estos resultados obtenidos, cumplen

con los valores establecidos en el reglamento nacional de edificaciones, el cual describe rangos de temperatura de confort entre 18 °C a 22°C.

- Así mismo en la investigación de Mercado y Machaca (2017) “SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICO CONTROLADO PARA MANTENER EL CONFORT TÉRMICO EN UN AMBIENTE DE LA FIQ” concluye que la energía necesaria para alcanzar a la temperatura de confort de 20.4°C desde 15.8°C es de 875.453 kJ, esta temperatura se alcanza en 5h aproximadamente. La diferencia entre estos dos sistemas, es que la técnica empleada por los investigadores es la utilización de termas solares para agua y aplicaciones de radiadores para el calentamiento del aire, el tiempo mínimo para alcanzar la temperatura de confort es de 5 h a diferencia de la presente investigación que es de 2 horas. De la misma manera, los investigadores emplean sistemas de control para no exceder la temperatura confort y evitar entrar en un estrés térmico, lo cual no ocurre con la presente investigación ya que se alcanza la temperatura confort máxima pasado las 6 h y esta se mantiene constante por 6 h más aproximadamente después de la última medición.
- Para mitigar las bajas temperaturas en casas rurales en la sierra del Perú, SENCICO (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción, una institución del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento) implementó muros Trombe donde la principal diferencia con el trabajo desarrollado es la mala ubicación del muro, los materiales ineficientes para coleccionar el calor y la poca incidencia de radiación solar.(62)
- En el Perú los muros Trombe tradicionales son ineficientes ya que la radiación solar no es aprovechada al máximo, así se incline el material aislante el absorbedor de la radiación sigue siendo vertical, por lo cual la ineficiencia persiste (2), por ello la inclinación de 7,5° respecto a la vertical del prototipo diseñado tanto del aislante como de la placa colectora mejora considerablemente la eficiencia, manteniendo así la temperatura de confort durante un mayor periodo.

CONCLUSIONES

- La implementación de un colector solar de aire, influye en la mejora del confort térmico en viviendas alto andinas ubicados sobre los 3 200 m.s.n.m, alcanzando una temperatura promedio de 20 °C durante los meses de julio y agosto donde a intensidad de la helada se maximiza. Además, resaltamos el haber logrado un salto térmico de 5 °C comprendidos entre 17 °C como mínimo y 22 °C como máximo.
- La energía calorífica calculada para alcanzar el confort térmico en una vivienda alto andina ubicada sobre los 3200 m.s.n.m.es de 161.981 kJ.
- El flujo de calor para alcanzar el confort térmico es de 0.00562 kJ/s, a razón de ello se logró alcanzar los 18 °C en un tiempo de dos horas y en las 6 horas siguientes se alcanzó los 22 °C como temperatura máxima de confort. Asimismo, cabe resaltar que a partir de las 6:00 pm la temperatura se mantuvo por aproximadamente 6 horas adicionales. La temperatura de confort obtenida durante la experimentación está dentro de los valores establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones y la Norma ISO 7730:2006 (Ergonomía del Ambiente Térmico).
- Los elementos de control para optimizar la eficiencia térmica del colector son: el tipo de placa absorbedora (plancha metálica, corrugado y de color negro mate) la disposición vertical y ángulo de inclinación de 7,5° de la placa colectora, el material aislante; estas características permiten captar una mayor cantidad de radiación infrarroja y facilita la circulación del flujo de aire caliente por diferencia de densidades sin la necesidad de ventiladores, asimismo, se consideran los elementos que generan pérdidas del calor como muros, piso, techo, ventanas y puertas.
- La implementación del colector solar de aire a doble contacto tiene un costo total aproximado de s/. 2883.50 soles
- Para aprovechar al máximo el sistema de colección solar se tomó la orientación de referencia que es hacia el norte en el hemisferio sur, asimismo evitando presencia de posibles sombras provenientes de diversos elementos (arquitectónicos, vegetales, etc.)
- La metodología de diseño empleada está basada en las recomendaciones de la VDI 2221 (Verein Deutscher Ingenieure) denominada “Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos”.

- El presente trabajo se centra en la aplicación del método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) el cual permite elegir alternativas de la solución ideal positiva, la cual maximiza los criterios de beneficios y minimiza el costo, mientras que la contraparte se conoce como solución ideal negativa.

RECOMENDACIONES

El trabajo de investigación titulado “**Optimización de un colector solar térmico de aire para mejorar el confort térmico en viviendas alto andinas de la Región Junín**” encierra innumerables conocimientos en lo que respecta a la transferencia de calor por lo que se sugieren tener presente las siguientes recomendaciones:

- Realizar las mediciones en diferentes estaciones que permita tener un mayor registro de datos para desarrollar y validar los resultados en mayor amplitud.
- Respecto al ambiente de investigación evitar tener las puertas y ventanas innecesariamente abiertas o poder reemplazar con tipos vaivén.
- Para poder calefaccionar un ambiente de mayores dimensiones, aislar mínimamente el piso y los techos.
- Con un registro de datos más amplio validar nuevamente las hipótesis propuestos.
- Se recomienda implementar un sistema de ventilación a base de energía solar que permita impulsar y mejorar el flujo de aire caliente del colector al ambiente doméstico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DIARIO LA REPÚBLICA. Senamhi informa bajas temperaturas en Junín, el sur del país y friaje en la selva. | Sociedad | LaRepublica.pe. *LA REPÚBLICA* [online]. 2018. [Accessed 14 October 2018]. Available from: <https://larepublica.pe/sociedad/1274240-senamhi-informa-bajas-temperaturas-sur-pais-friaje-selva>
2. CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES - CENEPRED. Heladas Y Friajes En El Marco Del Plan Multisectorial 2018. . 2018.
3. DIARIO EL COMERCIO. Energía renovable: ¿Por qué aún no es priorizada en el Perú? | Economía | Día 1 | El Comercio Perú. *EL COMERCIO* [online]. 2018. [Accessed 14 October 2018]. Available from: <https://elcomercio.pe/economia/dia-1/energia-renovable-son-priorizadas-peru-noticia-505629>
4. MINISTERIO DE VIVIENDA, Construcción y Saneamiento. Reglamento nacional de edificaciones. *Iteckne* [online]. 2006. Vol. 11, no. 1, p. 434. DOI <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303>. Available from: <http://www.urbanistasperu.org/rne/pdf/Reglamento Nacional de Edificaciones.pdf>
5. DE ENERGÍA, Ministerio, MINAS, Y, FAP, Mag, GAMARRA, Wilar, JEFE, Molina, SENAMHI, Del, FAP, Cor and CRUZADO, Rafael Campos. *ATLAS SOLAR DEL PERÚ* [online]. Lima, Perú, 2003. [Accessed 12 October 2018]. Available from: http://cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/80bib_arch.pdf
6. Energía Renovable Peru con Deltavolt. [online]. [Accessed 14 October 2018]. Available from: <https://deltavolt.pe/atlas/atlassolar>
7. El clima en el Perú: Huayao. <http://www.met.igp.gob.pe/clima/HTML/huayao.html> [online]. 2018. [Accessed 15 October 2018]. Available from: <http://www.met.igp.gob.pe/clima/HTML/huayao.html>
8. HORN, Manfred. El estado actual del uso de la energía solar en el Perú. *Perúeconómico*. 2006. Vol. XXIX, no. 11, p. 2–5. DOI 10.1016/j.cardfail.2016.01.007.
9. CMNUCC. Protocolo de kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. *Protocolo de Kyoto*. 1998. Vol. 61702, p. 20. DOI 10.1056/NEJMp1205634. CAMBIO CLIMATICO
10. MACHIACO, José Carlos and OLAZABAL REYES, Juan. Balance y perspectivas del aporte de la energía al desarrollo sostenible en el Perú. *Matriz Energética en el Perú y Energías Renovables* [online]. 2013. Vol. 7, p. 1–49. Available from: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/peru/10182.pdf>
11. POR, Presentado and YUCRA, Yucra. Universidad Nacional Del Altiplano Monografias : . 2013. P. 1–13.
12. JOHANE HANS, Bracamonte-Baran and MIGUEL LEONARDO, Baritto-Loreto. Análisis de las irreversibilidades en colectores solares de placas planas no isotérmicos para calentamiento de aire utilizando un modelo adimensional. *Ingeniería, Investigación y Tecnología* [online]. 2013. Vol. 14, no. 2, p. 237–247. DOI 10.1016/S1405-7743(13)72239-X. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S140577431372239X>

13. LABORDE, Miguel A and WILLIAMS, Roberto J J. *No Title*. [no date]. ISBN 9789874111005.
14. CON, D E Aire, POROSA, Matriz, DURÁN, G, BLANC, A, ALBEZA, F, MARTÍNEZ, C and CONDORÍ, M. Diseño, construcción y ensayos en circuito cerrado de un colector solar de aire con matriz porosa. . 2011. Vol. 15, no. 1982, p. 21–29.
15. TEMPERATURA, A Baja, CON, Comparación and SECADO, E L. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 10, 2006. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184. . 2006. Vol. 10, p. 9–13.
16. ÁVILA GÓMEZ, Adrián Enrique, MENDOZA FANDIÑO, Jorge Mario and BELTRÁN SARMIENTO, Julio Fernando. Evaluación energética de un colector solar de placa plana de doble cubierta. *Ingeniería & Desarrollo* [online]. 2010. Vol. 27, no. 0122–3461, p. 93–112. Available from: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/869>
17. LORENZO, Sergio, GONZÁLEZ, González, JAVIER, Francisco, MARTÍNEZ, Rey, ANA, Dra and GONZÁLEZ, Tejero. *PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL TESIS DOCTORAL : OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LOS COLECTORES Doctor / a por la Universidad de Valladolid Dirigida por :* [no date].
18. CALVA, Rodríguez, PATRICIO, Edwin, CÓRDOVA, Solís, DANIEL, Fernando and PREVIA, Grado. Diseño, Construcción E Instalación De Un Sistema De Calefacción Con Energía Solar. . 2012.
19. NACIONAL, Universidad, CENTRO, D E L and PERÚ, D E L. ASESOR : Dr . WILDER EFRAÍN EUFRACIO ARIAS. . 2017.
20. HUISA QUISPE, Franc Rubén. Acondicionamiento para el aprovechamiento de la energía solar en la I.E. Alfonso Ugarte. *Universidad Nacional del Centro del Perú* [online]. 2013. P. 83. Available from: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/151?show=full>
21. AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA. *Perspectivas de la energía en el mundo (WEO - 2016)* [online]. 2016. [Accessed 10 October 2018]. Available from: www.iea.org/t&c/
22. DEL CASTILLO CAMPOS, Juan Ignacio. *Panorama Energético Mundial 2017*. . 2017. P. 167–172.
23. MONTIEL, Catherine. *Panorama Energético Mundial 2017: un mundo en transformación* [online]. [no date]. [Accessed 10 October 2018]. Available from: <https://www.iea.org/weo2017/>
24. CRUZ MOLAR, Anahi. *Panorama energético global: Recursos y reservas, tendencias, tecnologías emergentes y áreas de investigación*. [online]. [no date]. [Accessed 10 October 2018]. Available from: http://www.mufr.fr/sites/mufr.univ-toulouse.fr/files/anahi_molar_cruz.pdf
25. ESAN. El potencial de la energía renovable en el Perú. *17 de Junio* [online]. 2016. [Accessed 9 October 2018]. Available from: <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/06/el-potencial-de-la-energia-renovable-en-el-peru/>

26. DIARIO GESTIÓN. El 5% de electricidad del Perú sería producida por energías renovables el 2015, según el MEM. *28 de Agosto* [online]. 2014. [Accessed 9 October 2018]. Available from: <https://gestion.pe/economia/5-electricidad-peru-seria-producida-energias-renovables-2015-mem-69502>
27. AITA, Pedro Gamio. Perú Potencial Energético: Propuestas y Desafíos. *Revista de Derecho Administrativo* [online]. 2006. Vol. 0, no. 16, p. 217–231. Available from: <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/16301>
28. LOAIZA LARREATEGUI, Daniel Fernando. “*Adaptación e implementación de Sistema de calefacción sustentable en el sector Andino del Ecuador*”. Universidad Internacional del Ecuador, 2013.
29. JARAUTA ROVIRA, LAURA. *LAS ENERGIAS RENOVABLES*. [online]. UNIVERSITAT OBERTA DE CAT, 2010. [Accessed 1 October 2018]. ISBN 9788490643440. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=P39pBAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=energias+renovables&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjXxPeC4OXdAhXS3IMKHfsdBG4Q6AEIQzAF#v=onepage&q&f=false>
30. JUANA, Jose Marie de. *Energías renovables para el desarrollo* [online]. Paraninfo, 2003. [Accessed 1 October 2018]. ISBN 9788428328647. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=NyvcConR-xoC&printsec=frontcover&dq=ENERGÍAS+RENOVABLES&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi7mtm32uXdAhXNuIMKHRDKDJ4Q6AEILDAB#v=onepage&q&f=false>
31. NATIONAL GEOGRAPHIC. El Sol | National Geographic. [online]. [Accessed 1 October 2018]. Available from: <https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>
32. LINARES GONZÁLEZ, Virginia. *Replanteo de instalaciones solares térmicas*. [online]. IC Editorial, 2017. [Accessed 3 October 2018]. ISBN 9788417086480. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=0homDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=tipos+de+colector+termico+solar&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEWjuoujetevdAhWlct8KHTahBaYQ6AEIJjAA#v=onepage&q=tipos+de+colector+termico+solar&f=false>
33. BULNES, Camilo Arancibia, BEST, Roberto and LEJOS, Brown. Energía del sol. *Revista Ciencia* [online]. 2010. Vol. 61, no. Abril-Junio, p. 10–17. Available from: http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/61_2/PDF/EnergiaSol.pdf
34. MÉNDEZ MUÑIZ, Javier María, CUERVO GARCÍA, Rafael and INSTITUTO DE TECNOLOGÍA Y FORMACIÓN (LLANERA, Asturias). *Energía solar fotovoltaica* [online]. Fundación Confemetal, 2007. [Accessed 2 October 2018]. ISBN 9788496743298. Available from: https://books.google.com.pe/books?id=GZh1DGUQoOUC&printsec=frontcover&dq=energia+solar+fotovoltaica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjH_Yv-vbdAhVlyVMKHUlyDAAQ6AEIJjAA#v=onepage&q&f=false 2ª ed
35. ROMERO TOUS, Marcelo. *Energía solar térmica* [online]. Ceac, 2009. [Accessed 27 September 2018]. ISBN 9788432920356. Available from:

https://books.google.com.pe/books?id=K6Z_xtq9J0cC&printsec=frontcover&dq=energí+a+solar+térmica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwis9qnTk_LdAhXop1kKHSG1B7IQ6AEINzAD#v=onepage&q&f=false

36. JUTGLAR, Luis., MIRANDA, Angel Luis and VILLARUBIA, Miguel. *Manual de calefacción* [online]. Marcombo, 2011. [Accessed 5 October 2018]. ISBN 9788426717382. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=XAbSSfaTX54C&printsec=frontcover&dq=parte+s+de+colector+térmico+solar+de+aire&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwja3JbvpfDdAhVhc98KHb2kD48Q6AEILDAB#v=onepage&q&f=false>En la port.: Manual de calefacción. _ En la cub.: Ferroli.
37. JUTGLAR, Luis and MIRANDA, Ángel Luis. *Técnicas de calefacción* [online]. Marcombo, 2009. [Accessed 6 October 2018]. ISBN 9788426715296. Available from: https://books.google.com.pe/books?id=Rqe8colCvwcC&pg=PA3&dq=fundamentos+de+calefacción&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjc9t_YjPLdAhUFyFkKHam3CM4Q6AEIPDAE#v=onepage&q&f=false1a. ed.
38. HERNÁNDEZ ADROVER, Juan José, RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, José and SANZ ARGET, Josep. *Transmisión de calor para ingenieros* [online]. 2010. [Accessed 2 October 2018]. ISBN 978-84-8427-737-8. Available from: https://books.google.com.pe/books?id=Oq5xBAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=calo+r&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj-zMP7I9_dAhXN61MKHbC4CHA4ChDoAQhVMak#v=onepage&q&f=false
39. RUFES MARTÍNEZ, Pedro. *Energía solar térmica : técnicas para su aprovechamiento* [online]. [no date]. [Accessed 27 September 2018]. ISBN 9788426718631. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=Gu6FIQXKHmEC&printsec=frontcover&dq=ene+rgia+solar&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj-8oO5ndzdAhUjmuAKHYwcA6IQ6AEIKjAB#v=onepage&q=energía+solar&f=false>
40. DÍAZ, Victorio Santiago. and BARRENECHE, Raúl Oscar. *Acondicionamiento térmico de edificios* [online]. Nobuko, 2005. [Accessed 28 September 2018]. ISBN 9789871135943. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=1seWJIPCfO4C&pg=PA366&dq=colector+termi+co+solar&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjvvhNGKkN7dAhXI6IMKHfvhDasQ6AEINjAD#v=onepage&q=colector+termico+solar&f=false>
41. CASTEJÓN OLIVA, Agustín and SANTAMARÍA HERRANZ, German. *Energías renovables (Instalaciones solares fotovoltaicas) - Germán Santamaría, Agustín Castejón - Google Books* [online]. [no date]. [Accessed 3 October 2018]. ISBN 978-84-9003-017-2. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=dSTiAwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepa+ge&q&f=false>
42. ZABALZA BRIBIAN, Ignacio. and ARANDA USON, Alfonso. *Energía solar termica* [online]. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2009. [Accessed 3 October 2018]. ISBN 9788415031116. Available from:

[https://books.google.com.pe/books?id=E2LjDAAAQBAJ&pg=PA293&dq=colector+solar+térmico+de+aire&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwik_cfq6evdAhUOZd8KHdmlDwMQ6AEIJAA#v=onepage&q=colector solar térmico de aire&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=E2LjDAAAQBAJ&pg=PA293&dq=colector+solar+térmico+de+aire&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwik_cfq6evdAhUOZd8KHdmlDwMQ6AEIJAA#v=onepage&q=colector+solar+térmico+de+aire&f=false) 1a ed. Cuarto volumen de la serie Energías renovables.

43. SODHA, M.S., BANSAL, N.K. and SINGH, D. Analysis of a non-porous double-flow solar air heater. *Applied Energy* [online]. 1 December 1982. Vol. 12, no. 4, p. 251–258. [Accessed 28 September 2018]. DOI 10.1016/0306-2619(82)90064-2. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0306261982900642>
44. RAPOSO CABELLO, Rubén. *DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN COLECTOR SOLAR DE AIRE CON MATERIALES RECICLADOS* [online]. Valladolid, España : Universidad de Valladolid, 2018. [Accessed 28 September 2018]. Available from: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/30149/1/TFG-I-820.pdf>
45. SELÇUK, M. KUDRET. Solar Air Heaters and Their Applications. *Solar Energy Engineering* [online]. 1 January 1977. P. 155–182. [Accessed 28 September 2018]. DOI 10.1016/B978-0-12-620850-4.50014-4. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780126208504500144?via%3Dihub>
46. ZAMORA, Blas, MOLINA-NIÑIROLA, L and VIEDMA, Antonio. Estudio numérico del flujo inducido por convección natural en una pared trombe. [online]. 2002. Vol. 18, no. 2, p. 16. [Accessed 9 October 2018]. Available from: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/4641/RR182C.pdf>
47. ESCUDERO SALAS, Cristina and FERNÁNDEZ IGLESIAS, Pablo. *Máquinas y equipos térmicos: Instalación y mantenimiento, Instalaciones frigoríficas y de climatización, Instalaciones de producción de calor* [online]. Paraninfo, 2013. [Accessed 14 October 2018]. ISBN 9788497322614. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=rPVRAGAAQBAJ&pg=PA169&dq=cARGA+TÉRMIICA+EN+VIVIENDAS+TÉRMICAS&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjGooyrmlfeAhWSpFkKHcBLAgEQ6AEILzAC#v=onepage&q&f=false>
48. SOSA GRIFFIN, María Eugenia. *Ventilación natural efectiva y cuantificable: confort térmico en climas cálidos-húmedos* [online]. Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, 1999. [Accessed 14 October 2018]. ISBN 9789800012659. Available from: [https://books.google.com.pe/books?id=2yOTK6FA7K4C&pg=PA14&dq=confort+termico+en+edificaciones&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi74e7Q5IHeAhWJyVMKHacIC6gQ6AEILTAB#v=onepage&q=confort termico en edificaciones&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=2yOTK6FA7K4C&pg=PA14&dq=confort+termico+en+edificaciones&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi74e7Q5IHeAhWJyVMKHacIC6gQ6AEILTAB#v=onepage&q=confort+termico+en+edificaciones&f=false) “Arquitectura y urbanismo”--Cover.
49. INSHT. Ergonomía. [online]. [Accessed 22 October 2018]. Available from: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/GuiasMonitor/Ergonomia/X/Ficheros/ex08.pdf>
50. VERA, Sergio and ORDENES, Martín. Revista Ingeniería de Construcción. [online]. 2002. P. 9. [Accessed 12 October 2018]. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=VKNDyKtHMBkC&pg=PP2&dq=confort+térmico+en+viviendas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiS-7uszYLeAhXFc98KHe->

zDLgQ6AEIRzAH#v=onepage&q&f=false

51. LA ENERGÍA SOLAR and APLICACIONES PRÁCTICAS. *La Energía Solar - Aplicaciones Prácticas* [online]. [no date]. [Accessed 22 October 2018]. ISBN 978-84-95693-50-1. Available from: <https://www.progensa.es/pubenersola.pdf>
52. FERNÁNDEZ SALGADO, José M. *Guía completa de la energía solar térmica y termoeléctrica : (adaptada al Código Técnico de la Edificación y al nuevo RITE)*. [online]. Antonio Madrid Vicente ediciones, 2008. [Accessed 22 October 2018]. ISBN 8496709116. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=IEyyPgAACAAJ&dq=GUÍA+COMPLETA+DE+LA+ENERGÍA+SOLAR+TÉRMICA+Y+TERMOELECTRICA+José+M.+Fernández+Salgado.&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiRoKuWs5veAhUIneAKHavhAC4Q6AEIJjAA>
53. MATA, Alfonso. and QUEVEDO, Franklin. *Diccionario didáctico de ecología* [online]. Editorial de la Universidad de Costa Rica, 2005. [Accessed 22 October 2018]. ISBN 9789977679587. Available from: <https://books.google.com.pe/books?id=a2kW3pjzc-wC&pg=PA96&dq=COLECTOR+SOLAR&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiAqPLGxpveAhXkYd8KHUhpAXwQ6AEIRjAG#v=onepage&q=COLECTOR+SOLAR&f=false2>. ed. Contains a Spanish-English, English-Spanish vocabulary.
54. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. *LECCION 2: CARGAS TÉRMICAS* [online]. [no date]. [Accessed 22 October 2018]. Available from: https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/455/42641/1/Documento10.pdf
55. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. AENOR. *ERGONOMÍA DEL AMBIENTE TÉRMICO. UNE-EN ISO 7730:2006*, [online]. España, 2006. [Accessed 22 October 2018]. Available from: file:///C:/Users/ComsLab/Downloads/EXT_nihhpzm9jXvNpY28aosu.pdf
56. DOMINGO, Agustin Martin and DOMINGO, Agustín Martín. *Amd-Apuntes-Transmision-Calor.* . 2011. P. 56.
57. Técnicas Clásicas de Optimización Parte I : Programación Lineal y No Lineal Índice general. .
58. SÁNCHEZ, Hugo., REYES, Carlos. and MEJÍA, Katia. *Metodología y diseños en la investigación*. 2018. ISBN 9786124735141.
59. GOLEMAN, DANIEL; BOYATZIS, RICHARD; MCKEE, Annie. Investigación en Educación y Ciencias Sociales. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2019. Vol. 53, no. 9, p. 1689–1699. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004.
60. PAICO, Claudia. Universidad nacional pedro ruiz gallo. [online]. 2018. P. 1–250. Available from: <http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/3424/BC-TES-TMP-2247.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
61. PÉREZ DOMÍNGUEZ, Luis, MACÍAS GARCÍA, Jorge, SÁNCHEZ MOJICA, Karla and LUVIANO CRUZ, David. Comparación Método multi-criterio TOPSIS y MOORA para la optimización de un proceso de inyección de plástico. *Mundo FESC*. 2017. Vol. 14, no. 14, p. 98–105.

62. Más de 17 mil familias se beneficiaron con instalación de muros “trombe” para combatir frío | Noticias | Agencia Peruana de Noticias Andina. [online]. [Accessed 15 February 2020]. Available from: <https://andina.pe/agencia/noticia-mas-17-mil-familias-se-beneficiaron-instalacion-muros-trombe-para-combatir-frio-306851.aspx>
63. VIVIENDA, Ministerio de. Confort térmico y lumínico con eficiencia energética. *Reglamento Nacional de edificaciones* [online]. 2014. Available from: http://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/04_EM/DS006-2014_EM.110.pdf Norma de construcción para el confort térmico y lumínico. Una lista de cantidad de luxes por ambientes.
64. | Nevika Cristales |. [online]. [Accessed 29 September 2019]. Available from: http://www.nevika.com/datos_tecnicos_dvh.html
65. INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ—IGP. *Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la Cuenca del Río Mantaro* [online]. 2005. ISBN 9972-824-12-8. Available from: <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/714>

ANEXOS

ANEXO N° 01

Ubicación de Provincias por Zona Bioclimática

UBICACIÓN DE PROVINCIAS POR ZONA BIOCLIMÁTICA									
Departamento	1 Desértico Marino	2 Desértico	3 Interandino Bajo	4 Mesoandino	5 Alto Andino	6 Nevado	7 Ceja de Montaña	8 Subtropical (Húmedo)	9 Tropical Húmedo
Huancavelica				Castrovirreyna		Angaraes	Tayacaja		
				Tayacaja	Huancavelica				
				Chucampá					
				Huaytará					
Huánuco			Marañón	Acobamba					
				Huamantla	Lauricocha		Ambo	Leónido Prado	
				Huánuco	Doc de Mayo		Huacaybamba	Puerto Inca	
				Pachitea			Marañón		
				Ambo			Yarowilca		
Ica		Palpa							
		Ica							
	Chincha Pisco	Nazca							
Junín				Tarma					
				Concepción	Junín		Chanchamayo	Chanchamayo	
				Huancayo				Satipo	
				Chupaca					
La Libertad	Pacasmayo	Accope		Bolívar			Gran Chimú		
	Trujillo	Chepén		Sánchez Carrión					
		Gran Chimú		Bolívar					
		Virú		Oluzco					
				Patuz					
				Jucán					
Lambayeque	Chilayo			Santiago de Chuco				Lambayeque	
		Lambayeque							
	Ferrefafe								

Fuente: Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico – Reglamento Nacional de Edificaciones.(63)

ANEXO N°02
Características Climáticas de cada Zona Bioclimática

Características climáticas	ZONAS BIOCLIMATICAS DEL PERU								
	1 Desértico Costero	2 Desértico	3 Interandino Bajo	4 Mesoandino	5 Alto Andino	6 Nevado	7 Caja de Montaña	8 Subtropical Húmedo	9
1 Temperatura media anual	18 a 19°C	24°C	20°C	12°C	6°C	<0°C	25 a 28°C	22°C	22 a 30°C
2 Humedad relativa media	> 70%	50 a 70%	30 a 50%	30 a 50%	30 a 50%	30 a 50%	70 a 100%	70 a 100%	70 a 100%
3 Velocidad de viento	Norte: 5-11 m/s Centro: 4-5 m/s Sur: 6-7 m/s	Norte: 5-11 m/s Centro: 4-5 m/s Sur: 6-7 m/s	Norte: 4 m/s Centro: 6 m/s Sur: 5-7 m/s	Norte: 10 m/s Centro: 7,5 m/s Sur: 4 m/s Sur - Este : 7 m/s	Centro: 6 m/s Sur: 7 m/s Sur Este: 9 m/s	Centro: 7 m/s Sur: 7 m/s	Norte: 4-6 m/s Centro: 4-5 m/s Sur: 6-7 m/s	Norte: 5-7 m/s Este: 5-7 m/s Centro: 5 m/s	Este: 5-6 m/s Centro: 5 m/s
4 Dirección predominante del viento	S - SO - SE	S - SO - SE	S	S - SO - SE	S - SO	S - SO	S - SO - SE	S - SO - SE	S - SO
5 Radiación solar	5 a 5,5 kWh/m ²	5 a 7 kWh/m ²	2 a 7,5 kWh/m ²	2 a 7,5 kWh/m ²	5 kWh/m ²	5 kWh/m ²	3 a 5 kWh/m ²	3 a 5 kWh/m ²	3 a 5 kWh/m ²
6 Horas de sol	Norte: 5 horas Centro: 4,5 horas Sur: 6 horas	Norte: 6 horas Centro: 5 horas Sur: 7 horas	Norte: 5-6 horas Centro: 7-8 horas Sur: 6 horas	Norte: 6 horas Centro: 8-10 horas Sur: 7-8 horas	Centro: 8 a 10 horas Sur: 8 a 10 horas	Centro: 8 a 10 horas Sur: 8 a 11 horas	Norte: 6-7 horas Centro: 8-11 horas Sur: 6 horas	Norte: 4-5 horas Sur-Este: 4-5 horas	Norte: 4-5 horas Este: 4-5 horas
7 Precipitación anual	< 150 mm	< 150 a 500 mm	< 150 a 1,500 mm	150 a 2,500 mm	< 150 a 2,500 mm	250 a 750 mm	150 a 6000 mm	150 a 3000 mm	150 a 4000 mm
8 Altitud	0 a 2000 msnm	400 a 2000 msnm	2000 a 3000 msnm	3000 a 4000 msnm	4000 a 4800 msnm	> 4800 msnm	1000 a 3000 msnm	400 a 2000 msnm	80 a 1000 msnm
Equivalente en la clasificación Koppen	BSh-BW, BW	Bw	BSh	Dwb	ETH	EFH	Cw	Aw	Af

Fuente: Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico – Reglamento Nacional de Edificaciones.(63)

ANEXO N°03

Valores Límites Máximos de Transmitancia Térmica (U) EN W/m² K

Zona bioclimática	Transmitancia térmica máxima del muro (U _{muro})	Transmitancia térmica máxima del techo (U _{techo})	Transmitancia térmica máxima del piso (U _{piso})
1. Desértico costero	2,36	2,21	2,63
2. Desértico	3,20	2,20	2,63
3. Interandino bajo	2,36	2,21	2,63
4. Mesoandino	2,36	2,21	2,63
5. Altoandino	1,00	0,83	3,26
6. Nevado	0,99	0,80	3,26
7. Ceja de montaña	2,36	2,20	2,63
8. Subtropical húmedo	3,60	2,20	2,63
9. Tropical húmedo	3,60	2,20	2,63

Fuente: Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico – Reglamento Nacional de Edificaciones.(63)

Material	Transmitancia Térmica (U) W/m ² K
	Separación con ambiente no acondicionado
Carpintería o marco de madera y:	
Hoja maciza de madera (cualquier espesor)	2.0
Carpintería o marco metálico y:	
Hoja de metal	4.5
Hoja de vidrio sin carpintería	4.5

Fuente: Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico – Reglamento Nacional de Edificaciones.(63)

Tabla N° 17: Valores de temperaturas del ambiente interior por tipo de uso en edificaciones

Edificación o local	Temperatura del ambiente interior (T _i) en °C
Vivienda	18
Locales de trabajo	18 – 20
Salas de exposiciones	15 – 18
Bibliotecas, archivos	15 – 18
Oficinas	20
Restaurantes	20
Cantinas	18
Grandes almacenes	20
Cines y teatros	20

Fuente: Norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico – Reglamento Nacional de Edificaciones.(63)

SIMPLE VIDRIADO	Cristal FLOAT de color											
	GRIS					BRONCE					VERDE	INCOLORO
	4 mm	5 mm	6 mm	8 mm	10 mm	4 mm	5 mm	6 mm	8 mm	10 mm	6 mm	6 mm
TRANSMISION DE LUZ (%)	54	47	41	31	24	61	55	50	41	33	75	87
CALOR SOLAR RADIANTE												
REFLECTANCIA (%)	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4	5	7
ABSORTANCIA (%)	39	45	51	62	69	39	45	51	62	69	49	15
TRANSMISION DIRECTA (%)	56	50	44	34	27	56	50	44	34	27	46	78
TRANSMISION TOTAL (%)	68	64	60	53	48	68	64	60	53	48	61	83
COEFICIENTE DE SOMBRA												
ONDA CORTA	0,64	0,57	0,51	0,39	0,31	0,64	0,57	0,51	0,39	0,31	0,53	0,90
ONDA LARGA	0,14	0,17	0,18	0,22	0,24	0,14	0,17	0,18	0,22	0,24	0,17	0,05
COEF. DE SOMBRA TOTAL	0,78	0,74	0,69	0,61	0,55	0,78	0,74	0,69	0,61	0,55	0,70	0,95
TRANSMITANCIA TERMICA												
COEFICIENTE "K" (W/m ² K)	5,8	5,8	5,7	5,7	5,6	5,8	5,8	5,7	5,7	5,6	5,7	5,7

Fuente: El vidrio y la transmisión de calor – Nevika Cristales.(64)

ANEXO N°04
Propiedades del Aire a la presión de 1 Atmósfera

Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de

Fuente: Universidad Nacional del Altiplano (11)

ANEXO N°05

Relación regional de los promedios mensuales de la temperatura Máxima y Mínima del Aire (Y) y la Altitud (X) en la Cuenca del Río Mantaro

Tabla N° 1. Relación regional de los promedios mensuales de la temperatura máxima del aire (y) y la altitud (x) en la cuenca del río Mantaro

MES	ECUACIÓN	COEF. CORR.
Enero	$y = -5E-07 x^2 - 0,0027x + 31,985$	r = 0,838
Febrero	$y = -2E-07 x^2 - 0,0041x + 33,228$	r = 0,857
Marzo	$y = -3E-07 x^2 - 0,0036x + 33,054$	r = 0,886
Abril	$y = -4E-07 x^2 - 0,0033x + 33,391$	r = 0,879
Mayo	$y = -4E-07 x^2 - 0,0029x + 33,159$	r = 0,842
Junio	$y = -3E-07 x^2 - 0,0036x + 33,723$	r = 0,830
Julio	$y = -3E-07 x^2 - 0,0039x + 33,520$	r = 0,833
Agosto	$y = -3E-07 x^2 - 0,0037x + 33,944$	r = 0,829
Setiembre	$y = -4E-07 x^2 - 0,0034x + 34,174$	r = 0,829
Octubre	$y = -5E-07 x^2 - 0,0032x + 34,435$	r = 0,851
Noviembre	$y = -5E-07 x^2 - 0,0027x + 33,614$	r = 0,816
Diciembre	$y = -6E-07 x^2 - 0,0019x + 31,840$	r = 0,838
Anual	$y = -5E-07 x^2 - 0,0029x + 32,678$	r = 0,884

Ecuación general de la temperatura máxima media anual del aire

Fuente: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro (65)

Tabla N° 2. Relación regional de los promedios mensuales de la temperatura mínima del aire (y) y la altitud (x) en la cuenca del río Mantaro

MES	ECUACIÓN	COEF. CORR.
Enero	$y = -1E-07x^2 - 0,0046x + 22,683$	r = 0,943
Febrero	$y = -2E-07x^2 - 0,0044x + 22,512$	r = 0,943
Marzo	$y = -8E-08x^2 - 0,0048x + 22,837$	r = 0,937
Abril	$y = 4E-08x^2 - 0,0055x + 22,836$	r = 0,914
Mayo	$y = 2E-07 x^2 - 0,0064x + 22,8$	r = 0,853
Junio	$y = 5E-08 x^2 - 0,006x + 21,393$	r = 0,808
Julio	$y = -2E-07 x^2 - 0,0049x + 20,001$	r = 0,846
Agosto	$y = -1E-07 x^2 - 0,0051x + 20,703$	r = 0,882
Setiembre	$y = -2E-07 x^2 - 0,0045x + 21,018$	r = 0,911
Octubre	$y = -1E-07 x^2 - 0,0047x + 22,119$	r = 0,918
Noviembre	$y = -2E-07 x^2 - 0,0046x + 22,473$	r = 0,925
Diciembre	$y = -7E-08 x^2 - 0,005x + 23,004$	r = 0,940
Anual	$y = -9E-08 x^2 - 0,0047x + 20,598$	r = 0,943

Ecuación general de la temperatura mínima media anual del aire

Fuente: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro (65)

ANEXO N° 07

Ficha de Registro de Campo

REGISTRO DE DATOS DE RADIACIÓN, TEMPERATURA Y HUMEDAD

N°	FECHA	HORA	HABITACIÓN EXPERIMENTAL			HABITACIÓN CONTROL			RADIACIÓN W/m ²
			T° INTERNA (°C)	T° EXTERNA(°C)	HUMEDAD	T° INTERNA (°C)	T° EXTERNA(°C)	HUMEDAD	
1		08:00 a.m.							
2		10:00 a.m.							
3		12:00 m							
4		02:00 p.m.							
5		04:00 p.m							
6		06:00 p.m.							

Fuente: Elaborado por los investigadores

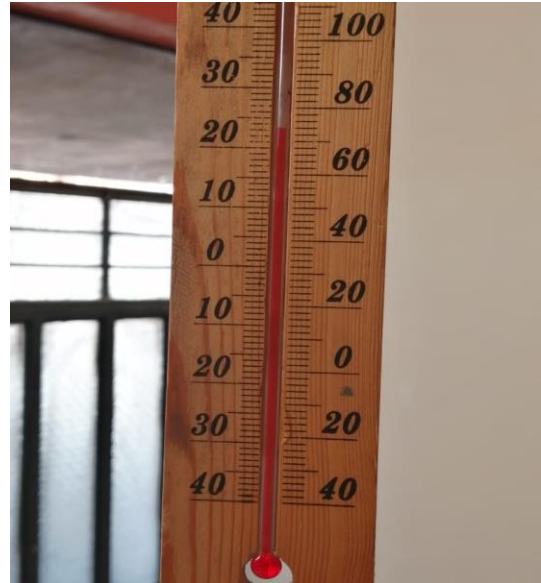
ANEXO N°08
Instrumentos de Medición



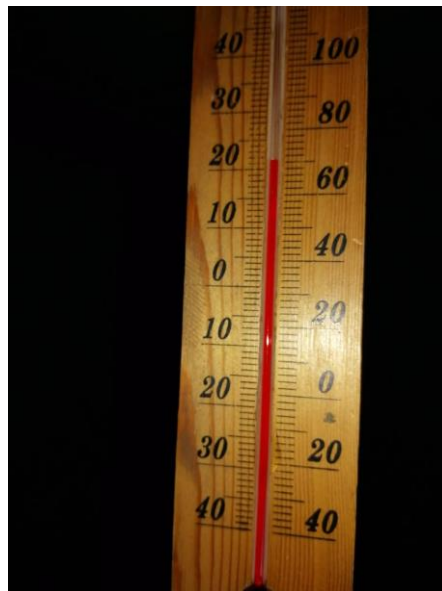
Piranómetro: Instrumento para la medición de la radiación solar.



Termohigrómetro: Instrumento para la medición de la humedad y temperatura interna y externa.



Termómetro: Instrumento para la medición de temperatura interna a la habitación experimental.



Termómetro: Temperatura interna medida a la 24 h en la habitación experimental