

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN MÉXICO

TESIS DOCTORAL

que para obtener el Grado de PhD DOCTOR en

INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

**“Simulación, caracterización y construcción de un prototipo
para calentar el agua de los páramos andinos mediante
materiales reciclados que capten la energía solar”**

PRESENTA

ROBINSON JOSÉ GARCÍA GAVILÁNEZ

Dirección de tesis

Dr. Harold Eduardo Ariza Ciodaro

Marzo 2026

**CANCÚN, QUINTANA
ROO,
MÉXICO**

ESTA TESIS DOCTORAL DEBE SER CITADA COMO:

García Gavilánez, Robinson José (2026). *Simulación, caracterización y construcción de un prototipo para calentar el agua de los páramos andinos mediante materiales reciclados que capten la energía solar.* [Tesis de doctorado. Universidad Internacional de Investigación México]. Repositorio. Doi

ORCID del autor: <https://orcid.org/0009-0005-0929-3844>



Esta obra está bajo una

[Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Se permite la reproducción total o parcial
y la comunicación pública de la obra
con reconocimiento de la autoría.

No se permite el uso comercial
ni la creación de obras derivadas.

RESPONSABLE DE LA REVISIÓN EDITORIAL: UIIMEX

RESUMEN

La presente investigación doctoral se centra en el diseño, simulación y construcción de un colector solar plano elaborado a partir de materiales reciclados, con el objetivo de mejorar el acceso al agua caliente en una comunidad de los páramos ecuatorianos. El estudio parte de la problemática asociada a la limitada disponibilidad de recursos energéticos en este grupo social históricamente excluido, proponiendo una solución sostenible, económica y socialmente viable. El proyecto contempla, como fase inicial, la caracterización de los componentes del colector, evaluando propiedades como capacidad calorífica, conductividad térmica, densidad, índice de refracción, absorptividad y emisividad, así como el análisis de las formas geométricas óptimas para maximizar la eficiencia. Mediante simulaciones en *SolidWorks Flow Simulation* y *ANSYS Fluent*, aplicando el método de volúmenes finitos, se predijo que el prototipo podría alcanzar una temperatura de hasta 55 °C bajo las condiciones operativas previstas. Posteriormente, se construyó el prototipo seleccionado, cuya estructura de soporte se elaboró con aluminio reciclado de marcos de ventanas. Como material aislante se reutilizó espuma de poliuretano proveniente de sofás desechados, complementada con plástico PET para reducir pérdidas térmicas. La placa absorbedora y la tubería se fabricaron con aluminio, aprovechando sus excelentes propiedades de conducción térmica, y se pintaron de color negro para maximizar la absorción. La cubierta se confeccionó con vidrio reciclado de ventanas, y se añadieron reflectores de papel aluminio para incrementar la captación y dirigir mayor energía hacia la tubería. Las pruebas experimentales mostraron que el sistema alcanzó una temperatura de 53,8 °C, apenas 1,2 °C por debajo del valor obtenido en las simulaciones, lo que confirma la precisión de las herramientas de modelado computacional para predecir el comportamiento térmico de dispositivos en condiciones reales.

Palabras clave: Energía solar, materiales reciclados, simulación, páramos, captador solar, caracterización.

ABSTRACT

This doctoral research focuses on the design, simulation, and construction of a flat-plate solar collector made from recycled materials, with the aim of improving access to hot water in a community located in the Ecuadorian highlands (*páramos*). The study addresses the challenges posed by the limited availability of energy resources in this historically excluded social group, proposing a sustainable, cost-effective, and socially viable solution. As an initial phase, the project involved the characterization of the collector's components, evaluating properties such as specific heat capacity, thermal conductivity, density, refractive index, absorptivity, and emissivity, as well as analyzing optimal geometric configurations to maximize efficiency. Simulations conducted in *SolidWorks Flow Simulation* and *ANSYS Fluent*, using the finite volume method, predicted that the prototype could reach a temperature of up to 55 °C under the anticipated operating conditions. The selected prototype was subsequently built, with its supporting structure fabricated from recycled aluminum window frames. Polyurethane foam recovered from discarded sofas was reused as insulating material, complemented by PET plastic to minimize thermal losses. The absorber plate and piping were made of aluminum, taking advantage of its excellent thermal conductivity, and were painted black to maximize absorption. The cover was made from recycled window glass, and aluminum foil reflectors were added to increase the capture area and direct more thermal energy toward the piping. Experimental tests showed that the system reached a water temperature of 53.8 °C, only 1.2 °C below the simulation results, thereby confirming the accuracy of computational modeling tools in predicting the thermal performance of devices under real operating conditions.

Keywords: Solar energy, recycled materials, simulation, paramo, solar collector, characterization.

A g r a d e c i m i e n t o s

A Dios que nunca me ha dejado solo y cuando parece que las cosas se complican siempre tiene algo mejor para mí.

A mis padres Laura Gaviláñez y José María García, por ser mi apoyo en este largo camino, por ser mi aliento en las adversidades, por darme todo de ellos, lo más importante su confianza y amor.

A mi esposa Karolina Lara, por ser mi pilar fundamental, apoyo incondicional y motivación permanente, por ser esa voz de positivismo en las circunstancias de estrés extremo y ser la guía principal de mis hijos cuando yo no pude.

A mi tía Beatriz Gavilanes, por el ánimo y el apoyo en cada momento del desarrollo del programa.

A mi cuñado Cristhian Lara y mis suegros Gladys Sánchez y Vinicio Lara, quienes han sido soporte para mi familia y constante preocupación para la culminación de mis estudios.

A mi cuñado Roberto del Castillo, por estar siempre en los momentos que más necesito.

D e d i c a t o r i a s

A mis dos grandes amores mis hijos José David García y Camila Alejandra García, por ser mi motor, mi inspiración, mis nuevas energías cada día, a quienes dedico cada una de las cosas que yo hago y que no cambiaría nada de mi historia por ellos.

A mis bellos abuelitos y familiares que están en cielo, que me guían con su amor y son quienes siempre me demostraron un cariño sincero y se sintieron orgullosos de mí cuando estuvieron junto a mí.

A mis hermanos, Marilyn García, Teresa García, Hortensia García y Cristopher Gavilanes, les dedicó este trabajo de investigación como la muestra de que todo se puede lograr con esfuerzo y méritos propios.

Índice general

INTRODUCCIÓN.....	1
PRIMER CAPÍTULO. GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO	3
Consecución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible	3
Justificación	5
Profundidad.....	7
Marco conceptual.....	8
¿Qué se estudia?.....	8
¿Para qué se estudia?.....	8
¿Qué se espera resolver?	8
Preguntas planteadas como ejercicio de problematización:	8
Alcances y limitaciones	9
SEGUNDO CAPÍTULO. PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN.....	11
Línea de investigación de la Universidad Internacional de Investigación México	11
Diagnóstico del problema.....	12
Pregunta de investigación.....	15
Hipótesis	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos	16

Matriz de congruencia.....	16
Operacionalización.....	17
TERCER CAPÍTULO. FUNDAMENTACIÓN EN EL CONOCIMIENTO PREVIO.....	19
Estado del arte.....	19
1. Estado del arte en Ecuador.....	19
2. Estado del arte global.....	20
Marco teórico	31
Energía solar.....	31
Usos de la energía solar	34
Energía solar térmica	36
Tipos de colectores solares	38
Captadores solares con tubos de vacío.....	38
Colectores de aire.....	39
Colectores Fotovoltaicos Térmicos	39
Materiales de reciclaje utilizados en la fabricación de colectores solares sus propiedades mecánicas y térmicas.....	39
Polietileno de Alta Densidad (HDPE).....	40
Polipropileno (PP).....	41
Plástico PET	43
Vidrio.....	44
Aluminio reciclado.....	46
Pinturas de aerosol de baja emisividad	48
Poliestireno Expandido (EPS).....	48

Poliuretano.....	49
Características de un colector solar plano para agua caliente.....	51
Cubierta transparente	51
Absorbedor	51
Tubos de circulación	51
Aislamiento	52
Estructura exterior o carcasa	52
Simulación CFD	52
Ley de la continuidad o conservación de la masa:.....	53
Ley conservación de momentum (Navier-Stokes):.....	53
Ley conservación de energía:	54
Modelado de turbulencia.....	56
Condiciones de contorno	56
Verificación y validación.....	56
Técnicas de mallado	57
Mallado por método algebraico.....	58
Mallado basados en EDPs.....	58
Método por frente de Avance.....	58
Método de mallado Multibloques	58
Ecuaciones matemáticas utilizadas por el método volúmenes finitos en (CFD) y su discretización	59
Métodos para determinar las propiedades térmicas y ópticas de los materiales	67
Métodos para determinar propiedades térmicas.....	67

Calorimetría diferencial de barrido:	67
Conductividad térmica mediante el método de placa caliente:	68
Análisis termogravimétrico:	69
Método Flash Láser:	70
Dilatometría:.....	71
Métodos para determinar propiedades ópticas	72
Espectroscopia de absorción:	72
Espectroscopía de reflexión:.....	73
Reflectometría:.....	74
Fotoluminiscencia:	75
Marco legal	77
Marco histórico.....	78
CUARTO CAPÍTULO. PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS	84
Bases epistemológicas y paradigmas	84
Diseño metodológico.....	86
Enfoque de recolección de datos	87
Procedimientos de instrumentación	88
Revisión documental.....	88
Simulaciones.....	90
Simulación 1: Colector solar plano flujo directo en SolidWorks	90
Simulación 2: Colector solar plano flujo directo con reflectores en SolidWorks	100
Simulación 3: Colector solar plano con efecto termosifón en SolidWorks	102
Simulación 4: Colector solar plano modificado la placa de absorción en SolidWorks	106

Simulación 5: Colector solar plano con mangueras circulares en SolidWorks...	108
Simulación 6: Colector solar plano con reflectores modificado la placa de absorción en ANSYS Fluent.....	111
Proceso de construcción del colector solar	126
Tamaño de la muestra	128
RESULTADOS	132
Simulación 1: Colector solar plano flujo directo	133
Simulación 2: Colector solar plano flujo directo con reflectores	135
Simulación 3: Colector solar plano con efecto termosifón	137
Simulación 4: Colector solar plano modificado la placa de absorción.....	138
Simulación 5: Colector solar plano con mangueras circulares.....	138
Simulación 6: Colector solar plano con reflectores modificado la placa de absorción en ANSYS Fluent.....	140
CONCLUSIONES	148
RECOMENDACIONES.....	153
REFERENCIAS	154
OTRAS FUENTES CONSULTADAS	176
ANEXOS.....	178

Índice de figuras

Figura 1.....	31
<i>Estructura del sol.....</i>	<i>31</i>
Figura 2.....	32
<i>Relación geométrica entre el sol y la tierra.....</i>	<i>32</i>
Figura 3.....	33
<i>Tipos de radiación solar.....</i>	<i>33</i>
Figura 4.....	34
<i>Espectro radiación solar.....</i>	<i>34</i>
Figura 5.....	35
<i>Clasificación de la energía solar activa.....</i>	<i>35</i>
Figura 6.....	36
<i>Formas en las que se transfiere el calor en un colector plano.....</i>	<i>36</i>
Figura 7.....	37
<i>Instalación de agua caliente por energía solar térmica.....</i>	<i>37</i>
Figura 8.....	38
<i>Flujo de energía solar térmica en una instalación de agua sanitaria.....</i>	<i>38</i>
Figura 9.....	40
<i>Ciclo de vida de un material reciclado.....</i>	<i>40</i>
Figura 10.....	42

<i>Evolución térmica del polipropileno</i>	42
Figura 11.....	43
<i>Estructura molecular del tereftalato de polietileno</i>	43
Figura 12.....	46
<i>Propiedades ópticas del vidrio.....</i>	46
Figura 13.....	47
<i>Proceso de reciclaje del aluminio</i>	47
Figura 14.....	53
<i>Proceso de solución por CFD.....</i>	53
Figura 15.....	56
<i>Método de volúmenes finitos</i>	56
Figura 16.....	59
<i>Dominio Multibloques</i>	59
Figura 17.....	61
<i>Representación de volúmenes de control en una dimensión</i>	61
Figura 18.....	64
<i>Representación de volúmenes de control en dos dimensiones.....</i>	64
Figura 19.....	68
<i>Funcionamiento del método DSC.....</i>	68
Figura 20.....	69

<i>Dispositivo medidor conductividad térmica de placa caliente</i>	69
Figura 21.....	70
<i>Dispositivo termogravimétrico.....</i>	70
Figura 22.....	71
<i>Método Flash Láser para determinar la difusividad térmica</i>	71
Figura 23.....	72
<i>Dispositivo para medir la expansión térmica por dilatometría.....</i>	72
Figura 24.....	72
<i>Proceso de atenuación de la luz cuando atraviesa un material.....</i>	72
Figura 25.....	74
<i>Proceso de atenuación de la luz cuando atraviesa un material.....</i>	74
Figura 26.....	74
<i>Proceso de espectroscopia de reflexión</i>	74
Figura 27.....	75
<i>Medición de reflectancia por reflectometría</i>	75
Figura 28.....	76
<i>Medidor de fotoluminiscencia</i>	76
Figura 29.....	90
<i>Dimensiones de los perfiles del colector solar.....</i>	90
Figura 30.....	90

<i>Dimensiones de los perfiles del colector solar</i>	90
Figura 31	91
<i>Dimensiones de los aislantes PET</i>	91
Figura 32	91
<i>Definición de las características térmicas y mecánicas de la espuma de poliuretano aislante.</i>	91
Figura 33	92
<i>Características de la placa absorbadora</i>	92
Figura 44	92
<i>Cubierta de vidrio reciclado utilizada en ventanas de viviendas</i>	92
Figura 45	93
<i>Importar características de los materiales</i>	93
Figura 46	93
<i>Fluido caloportador</i>	93
Figura 47	94
<i>Radiación solar en los páramos andinos</i>	94
Figura 48	94
<i>Inclinación del colector solar 10^0</i>	94
Figura 49	95
<i>Ingreso de condiciones iniciales, de radiación, temperatura y tipo de estudio</i>	95

Figura 50	95
<i>Ingreso de condiciones iniciales, de radiación, temperatura y tipo de estudio</i>	95
Figura 51	96
<i>Condiciones de ingreso y salida del agua</i>	96
Figura 52	96
<i>Variables por medir en la simulación 1</i>	96
Figura 53	97
<i>Selección de tipo de mallado.....</i>	97
Figura 54	97
<i>Parámetros de convergencia de la malla.....</i>	97
Figura 55	98
<i>Inicio de la simulación.....</i>	98
Figura 56	98
<i>Distribución de temperaturas en la tubería del colector a los 182 segundos.....</i>	98
Figura 57	99
<i>Convergencia de la solución de temperatura del fluido</i>	99
Figura 58	99
<i>Seguimiento del proceso de transferencia de calor, inicio, durante y convergencia de la solución</i>	99
Figura 59	100

<i>Modificación a la geométrica del colector solar con paneles reflectores</i>	100
Figura 60.....	100
<i>Ingreso de radiación solar y condiciones para la simulación 2</i>	100
Figura 61.....	101
<i>Variación de la temperatura del agua con el tiempo en la simulación 2</i>	101
Figura 62.....	101
<i>Simulación de la transferencia de calor</i>	101
Figura 63.....	102
<i>Modificación placa absorbedora</i>	102
Figura 64.....	103
<i>Configuración para el inicio de la tercera simulación, condiciones iniciales, dominio computacional, subdominio del fluido y mallado.....</i>	103
Figura 65.....	104
<i>Monitoreo de la variación de la temperatura con el tiempo, en la simulación 3.....</i>	104
Figura 66.....	105
<i>Temperatura promedio alcanzada en 4.4 horas</i>	105
Figura 67.....	105
<i>Temperatura promedio alcanzada en 5 horas</i>	105
Figura 68.....	106
<i>Modificación en el espesor y la colocación de la placa absorbedora</i>	106

Figura 69	106
<i>Definición de tipo de estudio, dominio computacional, subdominio de fluido, condiciones de frontera y mallado del colector modificado la placa absorbadora.</i>	106
Figura 70	107
<i>Monitoreo de la simulación para cada hora</i>	107
Figura 71	108
<i>Diseño de colector de mangueras circulares</i>	108
Figura 72	109
<i>Dominio computacional</i>	109
Figura 73	109
<i>Subdominio computacional</i>	109
Figura 74	109
<i>Definición de materiales del colector circular</i>	109
Figura 75	110
<i>Condiciones de entrada y salida del fluido</i>	110
Figura 76	110
<i>Inicio y monitoreo de la simulación</i>	110
Figura 77	111
<i>Espacio de trabajo de ANSYS</i>	111
Figura 78	112

<i>Importación y reparación de la geometría del colector solar</i>	112
Figura 79.....	112
<i>Generación de la zona de fluido</i>	112
Figura 80.....	113
<i>Módulo de ANSYS Fluent para simulación CFD</i>	113
Figura 81.....	113
<i>Malla del volumen del fluido en el colector</i>	113
Figura 82.....	114
<i>Optimización de la calidad del mallado.....</i>	114
Figura 83.....	114
<i>Número de elementos de la malla de zona de fluido con calidad igual cercana al 1</i>	114
Figura 84.....	115
<i>Mallado total del colector solar en ANSYS</i>	115
Figura 85.....	115
<i>Configuración general del Setup en ANSYS</i>	115
Figura 86.....	116
<i>Selección del modelo de energía para la transferencia de calor y el modelo k-épsilon</i>	116
Figura 87.....	118
<i>Selección del modelo de radiación solar</i>	118
Figura 88.....	119

<i>Ubicación geográfica de los páramos andinos en función de su latitud y longitud</i>	119
Figura 89.....	119
<i>Ingreso de datos a la calculadora solar de ANSYS</i>	119
Figura 90.....	120
<i>Configuración de propiedades de los materiales que conforman el colector solar</i>	120
Figura 91.....	121
<i>Relación matemática de la densidad con la temperatura</i>	121
Figura 92.....	121
<i>Materiales configurados en ANSYS Fluent con sus características térmicas, mecánicas y ópticas</i>	121
Figura 93.....	122
<i>Configuración de las zonas de fluido y de sólidos</i>	122
Figura 94.....	123
<i>Configuración condiciones de frontera</i>	123
Figura 95.....	123
<i>Condiciones para inicio de la simulación</i>	123
Figura 96.....	124
<i>Ejecutar la simulación.....</i>	124
Figura 97.....	125
<i>Monitoreo de los parámetros de la simulación</i>	125

Figura 98	133
<i>Resultado de la máxima temperatura alcanzada por el colector en la simulación 1</i>	133
Figura 99	134
<i>Energía térmica transferida en cada componente del colector en la simulación 1</i>	134
Figura 100	135
<i>Temperatura máxima alcanzada por el agua en la simulación 2</i>	135
Figura 101	136
<i>Calor transferido por cada componente del colector hacia el fluido en la simulación 2</i>	136
Figura 102	137
<i>Máxima temperatura a la que llegó el agua en la simulación número 3</i>	137
Figura 103	138
<i>Temperatura de la simulación 4 alcanzada por el agua</i>	138
Figura 104	139
<i>Temperatura máxima del agua en el colector solar circular en la simulación 5</i>	139
Figura 105	139
<i>Flujo energía entre las partes constituyentes del colector solar de mangueras circulares</i>	139
Figura 106	140
<i>Máxima temperatura alcanzada por el colector en la simulación en ANSYS</i>	140
Figura 107	142

Funcionamiento del colector solar reciclado.....142

Figura 108.....143

Histograma de distribución de edades.....143

Figura 109.....144

Diagrama de días de uso del colector solar.....144

Figura 111.....145

Diagrama de caja y bigote del impacto de la calidad de vida 145

Figura 110.....146

Diagrama de caja y bigote de la importancia de tener acceso al agua caliente 146

Figura 112.....147

Porcentaje de familias que considera beneficioso el uso de materiales reciclables en la fabricación de colectores solares 147

Índice de gráficas

Fotografía 1	126
<i>Marco de ventana de aluminio reciclado</i>	<i>126</i>
Fotografía 2	126
<i>Colocación del aislante térmico</i>	<i>126</i>
Fotografía 3	127
<i>Colector solar plano de materiales reciclados</i>	<i>127</i>
Fotografía 4	127
<i>Reflectores de papel aluminio</i>	<i>127</i>
Fotografía 5	141
<i>Colector de materiales reciclados.....</i>	<i>141</i>

Índice de tablas

Tabla Tabla Evaluación del Proyecto bajo la Matriz Brundtland	5
Tabla 1 Matriz de congruencia	16
Tabla 2 Operacionalización de las variables	17
Tabla 3 Propiedades mecánicas del vidrio	45
Tabla 4 Conductividad térmica del EPS	49
Tabla 5 Propiedades térmicas y mecánicas del poliuretano	50
Tabla 6 Propiedades térmicas de algunos aislantes	50
Tabla 7 Residuos comerciales domiciliarios en la ciudad de Ambato.	88
Tabla 8 Lugares de donde se recolectan residuos en Ambato	89
Tabla 9 La extensión de páramos en el Ecuador por provincia.....	128
Tabla 10 Población de la provincia de Tungurahua según Censo del año 2022.....	129
Tabla 11 Propiedades de los materiales reciclados utilizados para el colector solar ..	132
Tabla 12 Tabla de distribución de frecuencias de las edades de los encuestado en la comunidad	143
Tabla 13 Tabla de frecuencia de uso del colector	144
Tabla 14 Opinión sobre la utilización de materiales reciclados en la fabricación de colectores solares.....	147

INTRODUCCIÓN

El acceso deficiente a la energía térmica es una problemática central en las comunidades de los páramos andinos, zonas con características geográficas peculiares, difícil acceso y temperaturas extremas. La dificultad tecnológica para llevar infraestructura básica, sumada a la falta de interés y la marginación socioeconómica, ha limitado significativamente las oportunidades de desarrollo y la calidad de vida. En este contexto, se investigó cómo una solución tecnológica construida con materiales reciclados, que capte y convierta energía solar en calor para calentar agua, puede mejorar las condiciones de habitabilidad de dichas comunidades y aportar a la sostenibilidad ambiental

Las políticas energéticas tradicionales no han tenido el impacto necesario sobre todos los habitantes, por eso este estudio se sitúa en este marco, los antecedentes muestran la existencia de iniciativas y estudios previos, sobre la implantación de soluciones de energía renovable para lugares aislados, pero hay una carencia notoria en las implementaciones de energía renovable desarrollada con materiales reciclados que tengan un enfoque de bajo costo y con una eficiencia adecuada en contextos de difícil clima como los páramos andinos, esa falta de estudios previos motivaron el desarrollo del prototipo de captador solar reciclado.

La ingeniería de diseño es una metodología adoptada por esta investigación, en la cual la simulación de diferentes prototipos sometidos a diversas condiciones, es una herramienta que unida al diseño asistido por computadora, la dinámica de fluidos y métodos numéricos como el de volúmenes finitos, posibilitan tener diversas configuraciones de materiales sin la necesidad de construir un prototipo físico inicialmente, los programas que tiene estas posibilidad son SolidWorks y ANSYS, conocer las interacciones entre materiales y ver su comportamiento operativo y la influencia de cada uno en la absorción de calor son clave en la toma de decisiones.

La investigación pretende demostrar que es completamente viable tecnológicamente tener colectores sostenibles y a bajo costo que mejoren la calidad de

vida de las personas, se espera que los resultados no solo validen la efectividad del colector, sino que sirva como catalizador para que muchas más propuestas de uso de materiales reciclados puedan beneficiar a las comunidades que no tienen acceso a energía limpia y disminuir la brecha en el desarrollo de esos pueblos.

PRIMER CAPÍTULO. GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO

El presente capítulo establece los cimientos técnicos, sociales y de sostenibilidad de esta investigación doctoral. Su propósito central es exponer las razones estructurales que exigen una transición hacia tecnologías térmicas eficientes en zonas de alta vulnerabilidad climática, específicamente en los páramos andinos ecuatorianos. Atendiendo a las directrices institucionales, en primer lugar se articula el impacto directo de la propuesta con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) bajo la óptica del Informe Brundtland (1987). Posteriormente, se fundamenta la justificación del estudio frente a la problemática de la pobreza energética y el impacto ambiental, para finalmente delimitar la profundidad, el marco conceptual y los alcances operativos de implementar un sistema de captación solar basado en principios de economía circular.

Consecución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

En concordancia con los parámetros de la Universidad Internacional de Investigación de México (UiiMEX), la presente tesis inscribe su propuesta de valor directamente en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Sin embargo, para garantizar que el impacto de este estudio trascienda el corto plazo, su alineación con los ODS (específicamente el ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante, y el ODS 13: Acción por el Clima) se evalúa y fundamenta a través del marco conceptual del Informe Brundtland (1987).

Dicho informe define el desarrollo sostenible como "aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas". Bajo este paradigma, la construcción de un prototipo para calentar agua mediante materiales reciclados se estructura sobre los siguientes cuatro principios rectores:

Equidad intergeneracional: La investigación protege el capital natural para el futuro. Al utilizar polímeros y metales recuperados (reciclados) para la fabricación del colector, se evita la extracción de nuevos recursos y se reduce la huella de carbono. Esto garantiza que las futuras generaciones hereden ecosistemas de

páramo menos contaminados y una metodología de aprovechamiento energético que no agota las materias primas del planeta.

Satisfacción de necesidades humanas fundamentales: El sistema propuesto responde a la necesidad ineludible de salud y bienestar en comunidades rurales de altura. El acceso a agua caliente sanitaria es un derecho vinculado a la dignidad humana; al proveerlo mediante energía solar, se satisfacen las necesidades de higiene y prevención de enfermedades respiratorias en poblaciones vulnerables que dependen actualmente de combustibles costosos o contaminantes.

Integración de dimensiones económica, social y ambiental: El modelo logra un equilibrio sistémico. En la dimensión económica, reduce drásticamente los costos de adquisición y mantenimiento al emplear materiales de desecho. En la dimensión social, democratiza el acceso a la tecnología térmica en el páramo. En la dimensión ambiental, promueve la descarbonización y el manejo responsable de residuos sólidos.

Responsabilidad de largo plazo y prevención de riesgos: El diseño técnico y la caracterización de los materiales aseguran una operatividad resiliente frente a las condiciones climáticas extremas. En lugar de soluciones temporales, el uso de materiales reciclados tratados actúa como un mecanismo proactivo para mitigar el riesgo de pasivos ambientales, asumiendo una responsabilidad fiduciaria con el entorno natural de los Andes.

Tabla Demostrativa: Evaluación de Sostenibilidad (Matriz Brundtland)

Para evidenciar la viabilidad sostenible de la propuesta, se aplica la matriz de evaluación institucional basada en las cinco dimensiones derivadas de Brundtland.

Tabla Tabla Evaluación del Proyecto bajo la Matriz Brundtland

Dimensión a Evaluar	Criterio de Análisis en la Tesis	Puntaje (Escala 1-5)	Justificación del Impacto
1. Relevancia presente (20 pts)	Necesidad clara y contextualizada	5 (20/20)	Resuelve el problema inmediato de la pobreza energética y la falta de agua caliente en los páramos andinos mediante una solución aplicable hoy.
2. Impacto intergeneracional (25 pts)	Protección del futuro	5 (25/25)	El uso de materiales reciclados evita el agotamiento de recursos para el futuro. No genera externalidades negativas y protege el ecosistema del páramo.
3. Integración triple (20 pts)	Económico-Social-Ambiental	5 (20/20)	Integración total: ahorro económico por reciclaje, beneficio social en salud y beneficio ambiental por energía limpia y gestión de residuos.
4. Gobernanza y ética (15 pts)	Derechos y rendición de cuentas	4 (12/15)	Promueve la autonomía energética de las comunidades. La ética se refleja en el uso de tecnologías de bajo costo para sectores históricamente olvidados.
5. Viabilidad sostenible (20 pts)	Escalabilidad y resiliencia	5 (20/20)	El prototipo es técnicamente viable en climas extremos y 100% replicable en cualquier zona rural con alta radiación, siendo financieramente accesible.
PUNTAJE TOTAL		97/100	Decisión Proyectada: Aprobado con prioridad alta. La investigación fortalece las capacidades ambientales y sociales futuras.

Fuente: Elaboración propia

Justificación

Desde el aspecto político

La necesidad de muchos países de cumplir con compromisos voluntarios, como el Acuerdo de París, que exige reducir las emisiones de CO₂ e incrementar la producción energética mediante energías alternativas, abre un campo amplio para el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías (Vergara, Chila Godoy, & Mila, 2020).

Ecuador un país con un potencial energético envidiable, en cuanto a energías alternativas, debido a su ubicación en la mitad del planeta, dicho potencial podría ser aprovechado para contribuir a mitigar el cambio climático al disminuir sus emisiones de CO₂ por la utilización de combustibles de origen fósil (Acosta & Gámez, 2021).

Desde el aspecto social.

Tener acceso a la energía es la clave para el desarrollo de las comunidades y privarles de este derecho estaría condicionando el futuro de sus habitantes (Santacruz de León, Jacobo Marín, & Rodríguez Cárdenas, 2022), el uso de una tecnología que

permita emplear la energía del sol significaría un antes y un después en la vida de los residentes de las comunidades de los páramos andinos.

Desde el aspecto ambiental.

Se hace necesario conocer que materiales reciclados cumplen con las características adecuadas para hacer posible la captación de la energía procedente del sol, esto contribuye a muchos aspectos, disminuir la cantidad de desechos, reducir las emisiones al utilizar energías limpias y mejorar las condiciones de habitabilidad de las personas que habitan los páramos andinos (Aranzaes Sánchez, 2020).

Desde el aspecto económico

Reutilizar materiales posibilita reducir los costos y de esta manera las personas de escasos recursos puedan tener acceso a la energía, lo que significa un desarrollo significativo a nivel económico pues representa nuevas oportunidades.

Desde el punto de vista metodológico

Este proyecto exige conocer novedosas técnicas para determinar y cuantificar los valores de las propiedades térmicas en los materiales reciclados, así también la utilización de programas computacionales y conocimientos ingenieriles para el diseño del prototipo.

Aporte teórico

Desde una perspectiva teórica, esta investigación amplía el conocimiento sobre el aprovechamiento de materiales reciclados en sistemas de captación solar, integrando conceptos de transferencia de calor, caracterización de propiedades termo-físicas y simulación computacional, al articular teorías de dinámica de fluidos computacional (CFD), eficiencia energética y sostenibilidad, el estudio establece una base conceptual robusta que permite comprender cómo los materiales comúnmente desechados pueden convertirse en componentes funcionales para soluciones energéticas limpias. Asimismo, se contribuye al cuerpo epistemológico de las ciencias aplicadas al demostrar la viabilidad

de modelos teóricos que integran simulación y caracterización en contextos rurales de alta vulnerabilidad.

Aporte desde el ámbito de estudio

Desde el enfoque de la ingeniería aplicada al desarrollo tecnológico y la sostenibilidad, esta tesis responde a una necesidad concreta de las comunidades de los páramos andinos: acceder a energía térmica de forma económica, sostenible y adaptada a las condiciones geográficas extremas, la investigación no solo identifica los materiales más adecuados para su reutilización en contextos de alta irradiación y baja temperatura, sino que también evalúa su desempeño en prototipos funcionales mediante análisis computacionales y pruebas reales, esto permite generar un conocimiento aplicable para el diseño de tecnologías sociales sostenibles, especialmente en entornos donde la exclusión energética limita la calidad de vida.

Aporte práctico

La implementación del colector solar diseñado con materiales reciclados permite demostrar que es viable calentar agua a temperaturas cercanas a las de sistemas convencionales, reduciendo así el impacto ambiental y mejorando la higiene y bienestar de las personas.

Este resultado no solo tiene implicaciones directas para la comunidad objeto de estudio, sino que constituye un modelo replicable y escalable para otras zonas rurales con condiciones similares, el desarrollo del prototipo, acompañado de una validación por simulación y prueba de campo, representa una herramienta práctica que combina eficiencia, bajo costo y sostenibilidad, fortaleciendo las capacidades locales para la gestión autónoma de recursos energéticos.

Profundidad

Considerando los niveles de la taxonomía de Bloom, esta investigación contribuye al conocimiento en la categoría crear, pues utiliza información existente para generar un prototipo nuevo para dar soluciones distintas a los problemas existentes.

Marco conceptual

Este proyecto se enfoca en crear un prototipo diseñado para calentar agua utilizando materiales reciclados que absorban energía solar, esto implica verificar la eficacia con la que estos materiales conducen el calor y evaluar si los métodos seleccionados son adecuados para la construcción del prototipo, una vez construido, el prototipo será sometido a pruebas para su uso por los residentes de los páramos andinos. El enfoque no solo radica en la sostenibilidad, sino también en proporcionar una solución asequible y viable en una zona que presenta condiciones climáticas desafiantes.

¿Qué se estudia?

Se estudia en la investigación de varios materiales reciclados, como el polietileno de alta densidad, polipropileno, plásticos PET, vidrio, aluminio reciclado, poliestireno expandido y poliuretano, analizando sus propiedades térmicas y mecánicas y su influencia en la transferencia de energía térmica(calor), al fluido para incrementar la temperatura del agua, mejorando la eficiencia del colector.

¿Para qué se estudia?

Se estudia para demostrar que los materiales reciclados pueden ser una alternativa viable a los materiales convencionales en la construcción de colectores solares y como segunda ofrecer a la comunidad de los páramos una solución sostenible y económica para calentar agua.

¿Qué se espera resolver?

Con el diseño, construcción y funcionamiento del prototipo, se espera que las comunidades de los páramos andinos mejoren sus hábitos, esto generará nuevas rutinas saludables al tener acceso a una energía accesible y limpia.

Preguntas planteadas como ejercicio de problematización:

¿Cuán comparables son las propiedades térmicas de los materiales reciclados con las de los materiales tradicionalmente utilizados en colectores solares?

¿Es viable, desde un punto de vista técnico, implementar un colector solar hecho de materiales reciclados en los páramos?

¿Realmente la implantación de este prototipo va a resolver el problema de las comunidades indígenas?

¿Qué desafíos pueden surgir al combinar diferentes materiales reciclados y cómo pueden ser superados?

¿Qué tipo de procedimiento metodológico se empleó en esta investigación?

El enfoque general de la investigación es principalmente experimental y de simulación, inicialmente se realiza una revisión exhaustiva de la literatura para tener una información consolidada sobre las propiedades de los materiales reciclados y a partir de esa información, diseñar el prototipo y para anticipar su comportamiento, se utilizan simulaciones en SolidWorks y ANSYS basadas en Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), estas simulaciones proporcionan valiosos valores que posteriormente se utilizan para optimizar el diseño antes de pasar a la fase de prototipado físico.

Pero para el cumplimiento de cada objetivo, se utilizan diversos métodos de investigación los cuales se explicarán en los métodos de investigación.

Alcances y limitaciones

Esta tesis de doctorado tiene como objetivo principal diseñar un prototipo, creado a partir de materiales reciclados con características térmicas capaces de captar la energía de la radiación solar y transferirla al agua, calentándola para posteriormente usarla en las viviendas de las comunidades de los páramos andinos ecuatorianos.

Al ser un prototipo se analizará la implantación en una vivienda y posteriormente este estudio puede ser tomado como referencia para la aplicación masiva a toda la comunidad.

Considerado que en el Ecuador no se tiene una cultura sistematizada de categorización de residuos en todas las partes del país, esto involucra una gran limitante sobre todo el conocer la procedencia y las características de cada material recolectado.

Por lo mencionado es necesario realizar un análisis de las propiedades térmicas de los materiales que podrían utilizarse, apoyándose en estudios, recopilando esta información en la bibliografía y en investigaciones anteriores.

También el proceso de fabricación se elegirá el más accesible y disponible en el país, pues lo más importante es que los habitantes de estos sectores tengan acceso a una energía barata y ecológica.

SEGUNDO CAPÍTULO. PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presentan las bases sobre los cuales se construye este estudio académico, en él se delinea la línea de investigación en función a lo establecido por la Universidad Internacional de Investigación México, en el apartado de tecnologías e innovación, motivada por la inmediata necesidad de encontrar soluciones a comunidades marginadas, se detallará el problema, se definirá la pregunta de investigación, junto a los objetivos que permitirán llegar al resultado deseado.

Línea de investigación de la Universidad Internacional de Investigación México

La presente tesis se adscribe a la línea de investigación 3: Tecnologías e innovación, establecida por la Universidad Internacional de Investigación México (UIIMEX) en el marco del Doctorado en Innovación y Desarrollo Tecnológico. En particular, se vincula directamente con la sub-línea 3.3: Investigación y desarrollo en innovaciones tecnológicas en energías renovables, cuyo objetivo es explorar, diseñar e implementar soluciones energéticas limpias, sostenibles y adaptadas a contextos reales.

La investigación propuesta centrada en el diseño, simulación y construcción de un colector solar plano fabricado con materiales reciclados responde a la necesidad de dotar a comunidades marginadas de tecnologías energéticas accesibles, eficientes y ambientalmente responsables.

Desde esta perspectiva, el trabajo no solo desarrolla un prototipo funcional mediante el uso de software de simulación avanzada y caracterización térmica de materiales reciclados, sino que también valida su viabilidad práctica en zonas de alta vulnerabilidad como los páramos andinos.

En coherencia con el enfoque estratégico del programa doctoral, este estudio integra aspectos tecnológicos, sociales y ecológicos, lo que le permite contribuir activamente al cumplimiento de los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):

ODS 7: Energía asequible y no contaminante

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

ODS 13: Acción por el clima Y de forma transversal a:

ODS 3: Salud y bienestar

ODS 6: Agua limpia y saneamiento

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

ODS 12: Producción y consumo responsables

ODS 17: Alianzas para lograr los objetivos

Este aporte se enmarca dentro de la misión del doctorado de formar investigadores capaces de generar conocimiento aplicado y sostenible, que transforme positivamente realidades locales mediante tecnologías innovadoras orientadas a la solución de problemas estructurales y ambientales.

Diagnóstico del problema

Las comunidades de los páramos andinos históricamente marginados, desde el punto de vista socioeconómico, asociándoles siempre con personas de recursos económicos limitados y de poca preocupación por su aspecto personal, viviendo en tierras poco fértiles y de baja plusvalía, sin un valor significativo para la agricultura, sin embargo (Díaz Andagana, 2020), mencionan la grandeza de esos sectores olvidados, los páramos aseguran el suministro de agua, lo que hace necesario darle la importancia que se merece y de igual manera a sus habitantes quienes los cuidan y protegen, estas reservas de vida son indispensables para el desarrollo del país y de muchas personas que no conocen la realidad en la que viven los habitantes de esta zona.

Las condiciones climáticas a las que estas zonas del país están expuestas son extremas, desde tener una alta irradiación en el día hasta una baja temperatura en la noche, además de, niebla y alta humedad entre otras (Díaz Andagana, 2020).

Las personas que habitan en los páramos son las más marginadas del país no tienen acceso a energía térmica y eléctrica, esto ocasiona que su aseo personal no sea el adecuado, provocando problemas de salud que acorta su esperanza de vida, los resfríos por uso de agua a temperatura ambiente son constantes, por lo que optan por no tomar una ducha frecuentemente.

Este aspecto simple pero no entendido por la sociedad, ha provocado que personas que viven en otros lugares, discrimine a las comunidades por su falta de aseo sin conocer la razón de fondo.

Estos sectores de páramo debido a su ubicación geográfica aislada hacen muy complicado la interconexión con los sistemas públicos de energía, de hecho, según (Zambrano, 2021), “1500 millones de personas no puede acceder a la energía eléctrica, como consecuencia se genera problemas de salud, seguridad alimentaria, agua y saneamiento básico” (Dammert & García, 2020).

Además, a este problema de calidad de vida se presenta otra circunstancia, la falta de conciencia y tecnología para la reutilización de materiales, esta situación se da en todo el país, algunos materiales son desechados, pero podrían ser utilizados con otros fines, un ejemplo es la utilización de plásticos para recolectar el calor del sol para calentar el agua, para ello será importante conocer si los materiales cumplen con ciertas características para poder realizar este proceso de absorber calor y transferirlo al agua.

Hablando de los materiales que no son reutilizados, esto evidentemente está relacionada directamente con las actividades humanas, alrededor del planeta se generan más de 21000 millones de toneladas de desechos por año, el país que contribuye en mayor medida a esta estadística es Estados Unidos, del total producido solo se recicla el 16%, una de las razones por estos números tan bajos es la falta de voluntad política, comparando con la media global en el país norteamericano la cantidad de basura es tres veces mayor (Ramírez Román, Suárez Álvarez, Rodríguez Rodríguez, & Chabat Uranga, 2020).

Referente al mismo tema en Ecuador se produce en el año 4,1 millones de toneladas, de las cuales se puede reutilizar aproximadamente el 25 %, de esa cantidad reutilizable solo se ha reciclado el 24%, el que tiene mayor presencia es el plástico que representa el 11%, seguido del cartón con un 9,4% y luego está el vidrio con 2,6% (Fuentes Taticuán, 2020).

Problematización para inicio de la investigación

La necesidad tan grande que tiene el mundo por cubrir sus necesidades energética y la contaminación generada, podría representar una oportunidad de reutilizar materiales desechados y convertirlos en dispositivos que ayuden a recolectar el calor del sol y con esa energía calentar el agua de las comunidades de los páramos.

Con el ánimo de hacer esto posible surgen algunas preguntas.

¿Cuál es material reciclado que cumple con las características de absorber el calor del sol? (Pregunta descriptiva)

Las variables serían los materiales reciclados que cumplen con la característica de absorber el calor y la población los materiales desechados de fácil acceso y en abundancia.

¿Cuál es la diferencia entre el uso de plásticos y botellas de vidrio para calentar el agua? (pregunta comparativa)

Para poder responder esta pregunta será necesario realizar un análisis comparativo entre las propiedades térmicas de los diferentes materiales lo que llevaría a otra pregunta como la siguiente.

¿Cuál debe ser la forma que debe tener el prototipo para colocar en la vivienda? (Pregunta descriptiva)

Una vez seleccionado el material o los materiales será necesario saber su forma

¿En cuántos grados aumentada la temperatura del agua con la implementación del prototipo? (Descriptivo)

Desde el punto de vista técnico para garantizar si se está cumpliendo con el objetivo de calentar el agua será necesario medir la temperatura del agua.

¿Hasta qué punto mejoraría la percepción de las personas de la comunidad con la implementación de este prototipo?

Finalmente es necesario conocer la opinión de los habitantes de la comunidad sobre el impacto positivo o negativo que tendría el uso de este prototipo.

De estas múltiples preguntas surge la pregunta de investigación que dará respuesta a la mayoría de las interrogantes.

Todas las preguntas son concurrentes para el generar la pregunta de investigación:

Pregunta de investigación

¿Cómo podría aprovecharse el uso de materiales reciclados a partir de sus propiedades térmicas y mecánicas, con el fin de utilizar la energía solar y mejorar la vida de los habitantes de los páramos andinos?

Hipótesis

Si algunos materiales reciclados tienen la capacidad de absorber la radiación solar, se podría calentar el agua para bañarse, de tal manera que las comunidades de los páramos andinos, que limitan su aseo personal, puedan hacerlo y con ello mejorar la calidad de vida y la salud de sus habitantes.

Objetivo general

Diseñar un prototipo para el calentamiento de agua usando materiales reciclados que absorban energía solar, evaluando sus características térmicas para la conducción de calor y previo a la implantación simular el desempeño de sus componentes por

dinámica de fluidos computacional, para posteriormente someterlo a pruebas para su aplicación por los residentes de los páramos andinos.

Objetivos específicos

Identificar entre los materiales reciclados, cuales tiene las mejores propiedades térmicas y mecánicas para generar energía térmica en el colector.

Establecer el prototipo de captación solar para calentar el agua, con materiales reciclados y simular su comportamiento por CFD (Dinámica de fluidos computacional).

Implementar el prototipo para probar la temperatura del agua máxima que alcanza bajo diversas circunstancias aplicativas en la comunidad de los páramos.

Evaluar el grado de percepción en desarrollo de la prueba del prototipo realizado a los habitantes de los páramos andinos.

Matriz de congruencia

Tabla 1 Matriz de congruencia

MATRIZ DE CONGRUENCIA				
Pregunta de investigación	Hipótesis	Objetivo general	Objetivos específicos	Variables estudiadas
¿Cómo podría aprovecharse el uso de materiales reciclados a partir de sus propiedades térmicas y mecánicas, con el fin de utilizar la energía solar y mejorar la vida de los habitantes de los páramos andinos?	Si algunos materiales reciclados tienen la capacidad de absorber la radiación solar, se podría calentar el agua para bañarse, de tal manera que las comunidades de los páramos andinos, que limitan su aseo personal, puedan hacerlo y con ello mejorar la calidad de vida y la salud de sus habitantes.	Diseñar un prototipo para el calentamiento de agua usando materiales reciclados que absorban energía solar, evaluando sus características térmicas para la conducción de calor y previo a la implantación simular el desempeño de sus componentes por dinámica de fluidos computacional, para posteriormente someterlo a pruebas para su aplicación por los residentes de los páramos andinos.	Identificar entre los materiales reciclados, cuales tiene las mejores propiedades térmicas y mecánicas para generar energía térmica en el colector.	Propiedades térmicas y mecánicas de los materiales reciclados
			Establecer el prototipo de captación solar para calentar el agua, con materiales reciclados y simular su comportamiento por CFD (Dinámica de fluidos computacional).	Forma geométrica
			Implementar el prototipo para probar la temperatura del agua máxima que alcanza bajo diversas circunstancias aplicativas en la	Temperatura de ingreso del agua, temperatura ambiente y temperatura del agua caliente

Evaluar el grado de Edad
percepción en desarrollo
de la prueba del Sexo
prototipo realizado a los Selección múltiple
habitantes de los
páramos andinos.

Operacionalización

Operacionalización

Variables	Dimensiones	Indicadores
Propiedades térmicas de materiales reciclados	Conductividad térmica (W/m·K)	Valor numérico de la conductividad térmica del material
	Capacidades caloríficas (J/g·K)	Valor numérico de la capacidad calorífica del material
	Resistencia térmica (m²·K/W)	Valor numérico de la resistencia térmica del material
	Transmitancia térmica/transmisividad (%)	Valor numérico de la resistencia térmica del material
	Absortividad/Absorbancia (%)	Valor numérico de la absortividad
	Reflectividad (%)	Valor numérico de la reflectividad
	Emisividad (%)	Valor numérico de la emisividad
	Temperatura de fusión °C	Valor numérico de temperatura
Propiedades mecánicas de materiales reciclados	Resistencia a la tracción (MPa)	Valor numérico de la resistencia a la tracción del material
	Módulo de Young (GPa)	Valor numérico del módulo de elasticidad del material
	Dureza (HV, HB, HR, etc.)	Valor numérico de la dureza, dependiendo del método utilizado
Forma geométrica	Tipo de forma geométrica (plana, tubular, etc)	Descripción específica o categorización de la forma geométrica empleada en el diseño del colector
	Eficiencia en recolección solar	Porcentaje o valor numérico que representa la eficiencia en términos de recolección de energía solar
Temperatura a la que se calentará el agua	Temperatura de ingreso del agua (°C)	Valor numérico inicial de temperatura del agua antes de ser calentada

Mejorar la calidad de vida de las personas	Temperatura ambiente (°C)	Valor numérico de la temperatura externa durante el proceso
	Temperatura del agua caliente (°C)	Valor numérico de la temperatura del agua después de ser calentada
	Acceso a energía limpia y asequible:	Porcentaje de hogares que acceden al colector a un costo reducido.
	Confort térmico:	Porcentaje de usuarios que reportan un mejor confort en sus hogares tras la instalación.
	Conciencia ambiental y educación:	Número de personas que indican haber aumentado su conciencia sobre sostenibilidad tras conocer el producto.

Fuente: Elaboración propia

TERCER CAPÍTULO. FUNDAMENTACIÓN EN EL CONOCIMIENTO PREVIO

En este capítulo, se desarrolla el Estado del Arte, elaborado mediante un exhaustivo análisis de tesis doctorales previas que abordan temáticas similares a la investigación, se busca contrastar descubrimientos, metodologías y objetivos de investigación para enriquecer y delinear el enfoque único del estudio, se establecen los cimientos sobre los cuales va soportado la investigación.

Estado del arte

1. Estado del arte en Ecuador

Uno de los materiales importantes en el proceso de reciclaje y reutilización es el vidrio, y se ha desarrollado una investigación para la reutilización en procesos de templado para diseñar nuevos productos, buscando resaltar las ventajas que representa a la industria optar por políticas verdes para darle valor a sus productos (Espín, 2022).

La necesidad de que más personas se unan a la economía del país y también darles oportunidades a recicladores, y eso unido al objetivo de la industria que es obtener materia prima barata, esto se convierte en una atractiva manera para impulsar a la mejora en los procesos gestión de residuos sólidos (Fuentes Taticuán, 2020).

Dentro de los trabajos encontrados en el país, en el campo de la reutilización de materiales reciclados para construcción de captadores solares para calentamiento de agua encontramos el de (Chisaguano & Valdivieso, 2021) los cuales muestran alternativas tecnológicas usando materiales reciclables, caracterizando y realizando pruebas para poder cuantificar el ahorro frente a energías convencionales.

Según (Santillán Cevallos, 2022), en su proyecto de tesis el colector solar plano diseñado para el calentamiento de agua de uso sanitario, alcanzando un rendimiento óptimo, el prototipo fue elaborado con materiales de reciclaje como cartones, mangueras y plásticos de PET, esta configuración aprovecha la radiación solar, se recomienda también por parte del investigador mejorar el proceso de construcción para tener una

mayor rigidez estructural, pues podrían generarse agrietamiento y realizar pruebas de fugas en las mangueras antes de cerrar el sistema.

Además de los aportes para el diseño de captadores solares con materiales reciclados también se encontró la investigación para determinar las propiedades físicas y mecánicas de materiales reciclados como el vidrio, en función de normas internacionales como la ASTM y también en él se menciona las potencialidades del material en diferentes aplicaciones (Sangucho , Velasco, & Viera, 2023).

Con relación a lo anterior es de relevancia comentar la investigación de (Valle, 2022) la cual muestra el cálculo por medio de elementos finitos y simulaciones 3D de las propiedades térmicas que tienen algunos materiales compuestos, los cuales son de mucha relevancia para poder tomar esa información y aplicarlo en el desarrollo de nuevas tecnologías sobre todo la reutilización de materiales.

Es importante mencionar que en el contexto nacional no se ha abordado el tema con la rigurosidad que se requiere, por ello es importante analizar el contexto global el cual se mostrará en la siguiente sección.

2. Estado del arte global

Según (Galve, 2021) en su proyecto de investigación doctoral buscaba determinar la viabilidad del uso del plástico reciclado en la industria, comparando las propiedades de materiales de origen virgen con los reutilizados, en el estudio se indica que las propiedades físicas de los reutilizados son equiparables a los plásticos nuevos, la reutilización supone una reducción del 30 % del impacto, esta reducción esencialmente se debe al disminuir los procesos de fabricación de materia prima y garantizando un ahorro económico, la investigación también muestra simulaciones computacionales para determinar propiedades y caracterizar al material.

Hassan (Mahmood, 2020). *Theoretical Modelling of Components of a Solar Thermal Power Plant for Performance Enhancement*. Northumbria University. En esta investigación doctoral se implementó modelado teórico y simulación numérica para optimizar una planta de energía solar térmica de pequeña escala. El trabajo se centró en

la dinámica de fluidos computacional (CFD) y modelado termodinámico de los componentes clave: el colector solar parabólico y un ciclo Rankine orgánico, integrados en un sistema de microgeneración solar. Se desarrollaron modelos matemáticos detallados de transferencia de calor y masa en el campo solar y del rendimiento del ciclo de potencia, validados con datos experimentales disponibles. Los resultados mostraron posibles mejoras de eficiencia al optimizar el diseño del receptor solar y las condiciones operativas del fluido de trabajo; por ejemplo, el modelado predijo un aumento significativo en la eficiencia térmica del colector y en la potencia de salida del ciclo ORC al implementar estrategias de recuperación de calor. La tesis concluye proponiendo recomendaciones de diseño mejorado (p. ej., geometría del concentrador y selección de fluido) que podrían incrementar la generación eléctrica solar en hasta un 5–10% sin cambiar la huella de la planta. Contribuye así al conocimiento de simulación CFD aplicada a plantas solares, ofreciendo una herramienta útil para diseñar centrales solares más eficientes en el futuro.

João (Gomes, 2021). *Development of Concentrating Photovoltaic-Thermal Solar Collectors*. University of Gävle (Suecia). En esta tesis doctoral se investigan nuevos colectores híbridos fotovoltaico-térmicos de concentración (C-PVT), combinando generación eléctrica y térmica en un solo dispositivo. El autor planteó varias preguntas de investigación sobre el diseño óptimo de estos sistemas y abordó el problema mediante una metodología experimental y numérica. Se diseñaron prototipos de colectores C-PVT con reflectores parabólicos compuestos (CPC) acoplados a células fotovoltaicas y circuitos de fluido térmico, los cuales fueron fabricados y ensayados bajo distintas condiciones de irradiación. Asimismo, se desarrollaron modelos teóricos para predecir el comportamiento eléctrico y térmico, validados con datos experimentales. Los hallazgos revelaron que el colector C-PVT propuesto alcanza eficiencias combinadas superiores al 70%, produciendo simultáneamente calor de proceso y electricidad. En particular, se observó que una leve concentración solar mejora la eficiencia de las células PV al mantenerlas refrigeradas por el subsistema térmico, mientras que el excedente de calor se aprovecha para agua calientediva-portal.orgdiva-portal.org. La tesis aporta contribuciones originales en el diseño de C-PVT, demostrando su viabilidad técnica y analizando estrategias de trazado de rayos y optimización termoeléctrica que maximizan

la captación solar total, lo que sienta bases para colectores solares híbridos más eficientes en aplicaciones residenciales e industriales.

Paloma (Martínez Merino, 2023). *Nanofluids with Optimised Thermal Properties Based on Metal Chalcogenides with Different Morphology*. Universidad de Cádiz (España). Esta tesis doctoral explora por primera vez el uso de nanofluidos avanzados como fluidos caloportadores en centrales solares de concentración (CSP). La investigadora sintetizó nanofluidos empleando nanomateriales de disulfuro de molibdeno y tungsteno (MoS_2 , WS_2) en distintas dimensiones (estructuras 1D, 2D y 3D) dispersados en una mezcla eutéctica de bifenilo/óxido de difenilo un aceite térmico típicamente utilizado en colectores cilindro-parabólicos Metodología: se prepararon nanofluidos mediante exfoliación líquida y síntesis solvotermal, variando parámetros como concentración de surfactante y tiempo de ultrasonido para optimizar estabilidad y carga de nanopartículas. A continuación, se caracterizaron exhaustivamente las propiedades termo-físicas de cada nanofluido (capacidad calorífica, conductividad térmica, estabilidad coloidal, viscosidad y propiedades ópticas). Los resultados demostraron mejoras notables: ciertos nanofluidos basados en MoS_2 y WSe_2 en estructura laminar 2D mostraron incrementos de ~35% en el coeficiente de transferencia de calor respecto al fluido térmico convencional, manteniendo estabilidad coloidal a largo plazo. Además, se observó que las nanohojas de WSe_2 aumentan drásticamente la absorción óptica del aceite, lo que sugiere su potencial uso en colectores solares de absorción directa. Como contribución, la tesis de Martínez Merino demuestra la viabilidad de nanofluidos basados en dicalcogenuros metálicos para mejorar la eficiencia de captación y almacenamiento térmico en plantas CSP, aportando datos experimentales valiosos y recomendaciones para superar barreras (estabilidad, compatibilidad) en la implementación de nanofluidos en la industria solar.

Jimmy (Sareriya , 2024). *Solar Thermal Steam Distillation for Essential Oil Production*. Gujarat Technological University (India). Esta tesis doctoral propone una aplicación innovadora de la energía solar térmica en la destilación de aceites esenciales, combinando técnicas de optimización química con tecnología solar. Inicialmente, la investigadora realizó una optimización mediante metodología de superficie de respuesta

(RSM) de la extracción convencional de aceite esencial de eucalipto por destilación con vapor, determinando condiciones óptimas de operación (tamaño de hoja $\sim 0,02$ m, temperatura ~ 97 °C, razón sólido/solvente 0,5–0,6, tiempo $\sim 3,5$ h) para maximizar el rendimiento y la calidad del aceite. Posteriormente, estos parámetros óptimos se aplicaron a un sistema de destilación solar impulsado por un concentrador Scheffler de $2,5$ m². Se diseñó y construyó un destilador solar experimental, y se llevaron a cabo 27 corridas de destilación con hojas frescas y secas, evaluando el rendimiento de aceite y la composición (principalmente 1,8-cineol y α -pineno). Los resultados mostraron que, bajo operación solar, se logró extraer hasta $\sim 0,1\%$ de aceite esencial de eucalipto (en base a masa de hoja) con pureza comparable al método convencional, aunque con un rendimiento ligeramente menor debido a variaciones diurnas de irradiancia. La comparación convencional vs solar evidenció que el proceso solar produce algo menos de aceite por la menor estabilidad térmica, pero mantiene proporciones similares de compuestos clave (cineol $\sim 61\%$). Esta investigación contribuye demostrando la viabilidad de la destilación solar térmica para productos botánicos, una tecnología limpia alineada con los ODS. La tesis de Jimmy ofrece datos de desempeño real y analiza beneficios y limitaciones (p. ej., necesidad de sol constante) de reemplazar calentadores eléctricos por esquemas solares en pequeñas industrias rurales, aportando al campo un caso exitoso de energía solar térmica aplicada a comunidades agrícolas para valor agregado de sus cultivos.

Michael (Wild, 2022). *Design, Modelling, Experimental Demonstration, and Investigation of a Gas-Solid Thermochemical Heat Storage Reactor*. ETH Zürich (Suiza). Esta tesis doctoral se enfoca en los sistemas de almacenamiento de energía térmica por reacción termoquímica para centrales solares de concentración. El autor diseñó y construyó un reactor de almacenamiento basado en una reacción gas-sólido reversible de alta temperatura, con el fin de almacenar el calor solar de manera densa y liberarlo bajo demanda. Mediante modelado termodinámico y simulaciones CFD, se optimizó el reactor y el material reactivo, seleccionando pares reacción sólidos-gas con alta entalpía de reacción y adecuada cinética. Seguidamente, se llevó a cabo una demostración experimental a escala de laboratorio: el reactor prototipo se cargó con calor simulado (resistencias eléctricas reproduciendo la entrada solar) para desencadenar la

descomposición endotérmica del material sólido, almacenando energía química, y luego se inició la reacción inversa exótica mediante reintroducción del gas para liberar calor. Los resultados experimentales validaron la alta densidad de almacenamiento (~3–4 veces superior al almacenamiento sensible en sales fundidas) y mostraron una eficiencia de conversión energética notable, aunque dependiente de la pureza del gas y la estabilidad ciclística del material. La tesis identificó los parámetros óptimos de operación (temperaturas, caudal de gas, etc.) y documentó una excelente capacidad de retención de calor sin pérdidas durante periodos prolongados gracias a la naturaleza química del almacenamiento. Como contribución, Wild demuestra la factibilidad de integrar reactores termoquímicos de lecho sólido en plantas CSP, logrando extender la generación eléctrica más allá de las horas solares con un sistema compacto. Sus hallazgos ofrecen orientaciones de diseño (materiales resistentes a la corrosión y ciclos repetitivos, intercambiadores de calor integrados) para futuros almacenadores termoquímicos a escala comercial, abriendo camino a mejoras sustanciales en la gestión de la intermitencia solar.

Adetunji (Onigbajumo, 2022). *Integration of Concentrated Solar Thermal Energy for Industrial Hydrogen Production*. Queensland University of Technology – QUT (Australia). Esta tesis doctoral aborda la integración de energía solar térmica concentrada en procesos industriales de producción de hidrógeno, combinando análisis de procesos, modelado energético y evaluación económico-ambiental. El trabajo se desarrolló mediante estudios de caso representativos, en los cuales se integró calor proveniente de tecnología solar de concentración (por ejemplo, campo de heliostatos o colectores de plato parabólico) para suministrar la energía térmica requerida en procesos como la producción de hidrógeno verde. Se empleó modelado de procesos para simular la integración energética en un ciclo de producción de hidrógeno (p.ej., gasificación supercrítica de biomasa o electrólisis térmicamente asistida), junto con optimización exergo-económica para encontrar el mejor aprovechamiento del calor solar disponible. Los resultados demostraron la viabilidad de un proceso híbrido en el que la fracción solar reduce significativamente el consumo de combustibles fósiles: la tesis cuantifica mejoras en la eficiencia global y reducciones en costos operativos y emisiones de CO₂ al incorporar energía solar en distintos puntos del proceso. Por ejemplo, la integración solar

permitió cubrir una porción sustancial de la demanda térmica en reactores químicos, disminuyendo el costo nivelado del hidrógeno producido bajo ciertos escenarios. Asimismo, mediante análisis tecno-económicos, se identificaron las configuraciones óptimas y se destacó la importancia de apoyos financieros o incentivos para la competitividad de estas plantas solares-hidrógeno. Como contribución, la tesis de Onigbajumo ofrece un marco completo de evaluación técnico, económico y ambiental demostrando que la combinación de energía solar térmica con procesos de hidrógeno puede reducir notablemente el impacto climático de la industria, guiando así futuras implementaciones de cogeneración solar industrial.

Gholamabbas (Sadeghi, 2022). *Application of a Shape-Stabilized PCM in Direct-Absorption-Storage Solar Collectors (EngD Thesis)*. Universidad de Twente (Países Bajos). Esta investigación de doctorado (EngD) se centró en mejorar la eficiencia de colectores solares térmicos mediante la integración de materiales de cambio de fase (PCM) directamente en el absorbedor, logrando simultáneamente captura y almacenamiento de calor. Se desarrolló un colector solar con almacenamiento incorporado: un PCM estabilizado en forma sólida (mediante soporte poroso) actúa como placa absorbidora y medio de almacenamiento en un tubo evacuado, evitando pérdidas por convección y mejorando la retención térmica. Además, para validar el desempeño independientemente del clima, se diseñó y construyó un simulador solar de gran escala (matriz de lámparas) que permitió ensayar el colector en laboratorio bajo irradiancia controlada. Los experimentos evaluaron la eficiencia de absorción y liberación de calor con distintos caudales de agua (10, 27 y 40 L/h) atravesando el colector lleno de PCM. Los resultados mostraron que el colector propuesto alcanzó una eficiencia de absorción de ~82%, gracias a la alta conductividad térmica del PCM compuesto y al ambiente de vacío que minimiza pérdidas. Se observó que tasas de flujo moderadas (10–27 L/h) extraen el calor almacenado sin mermar significativamente la ganancia térmica, mientras que un flujo demasiado alto (40 L/h) reduce el tiempo de contacto y la energía aprovechada. Asimismo, el uso de gas argón en el tubo evacuado disminuyó aún más las pérdidas térmicas. Un análisis económico y ambiental indicó un período de retorno de alrededor de 6 años y una reducción anual estimada de ~5,4 toneladas de CO₂ por colector al reemplazar combustibles fósiles. En conjunto, la tesis demuestra que

incorporar un PCM absorbente en el colector permite almacenar calor solar in situ con mínimas pérdidas, suavizando la intermitencia y elevando la eficiencia del sistema. Esta contribución es altamente relevante para el diseño de colectores solares con almacenamiento integrado, especialmente útiles en regiones con fluctuaciones solares, aportando soluciones de bajo costo y alta densidad energética.

Muhammad Aamer (Hayat, 2023). *Novel Nano-Enhanced Phase Change Materials for Thermal Energy Storage Applications*. University of Hertfordshire (Reino Unido). En esta tesis doctoral se investigó el desarrollo de materiales de cambio de fase nano-mejorados (nano-PCM) para almacenamiento térmico de baja temperatura, con potencial aplicación en sistemas solares. El enfoque incluyó la síntesis y caracterización de diversos PCMs mejorados con nanopartículas para aumentar su capacidad de almacenamiento y conductividad térmica (Hayat, 2023). Se prepararon formulaciones de parafinas y otros PCMs orgánicos incorporando nanomateriales (por ejemplo, nanoaluminio, óxidos metálicos y nanotubos de carbono) a diferentes concentraciones. Mediante técnicas calorimétricas (DSC) y análisis de conductividad, se midieron las propiedades clave: punto de fusión, calor latente y conductividad de cada nano-PCM, comparándolos con los PCM base. Los resultados mostraron mejoras significativas: ciertas nanopartículas lograron incrementar la conductividad térmica del PCM hasta el doble, y la capacidad de almacenamiento permaneció elevada, con reducciones mínimas en calor latente. Asimismo, se observó estabilidad en ciclos de fusión/solidificación repetidos, indicando que la adición nanoestructural no degradaba el rendimiento tras múltiples ciclos. La tesis identificó la mejor combinación de matriz PCM y nanoaditivos para distintos rangos de temperatura (baja/media temperatura aptos para colectores solares domésticos), destacando, por ejemplo, que un 5% p/p de lana de aluminio (obtenida de residuos de latas) en parafina duplicó la conductividad sin afectar apreciablemente el calor latente. Esta investigación contribuye al campo de almacenamiento térmico solar proporcionando nuevos materiales compuestos con propiedades termo-físicas superiores. Los nano-PCM desarrollados podrían emplearse en depósitos de calor en sistemas solares domésticos e industriales, acelerando la transferencia de calor y permitiendo dispositivos más compactos y eficientes energéticamente.

F. Javier (Cabañas, 2020). *Corrosion Evaluation of Molten Salts Thermal Energy Storage (TES) for Concentrating Solar Power*. Universitat de Lleida (España). Esta tesis doctoral estudia un aspecto crucial de los sistemas de almacenamiento térmico en sales fundidas para plantas solares de potencia: la corrosión de los materiales involucrados. El trabajo se enmarca en el creciente protagonismo de la tecnología termosolar de concentración y la necesidad de garantizar la durabilidad de los componentes expuestos a sales fundidas a alta temperatura (Ruiz-Cabañas, 2020). Se llevó a cabo una evaluación corrosiva experimental exponiendo distintas aleaciones metálicas (aceros al carbono e inoxidables, y aleaciones especiales) a nitratos fundidos (típica mezcla 60% NaNO_3 – 40% KNO_3 utilizada como medio de almacenamiento) bajo condiciones controladas durante períodos prolongados. Mediante técnicas analíticas (microscopía electrónica, difracción de rayos X, análisis gravimétrico), se caracterizaron las capas de corrosión formadas y la tasa de degradación de cada material. Los resultados identificaron que el acero al carbono presenta una rápida oxidación (formación de óxidos mixtos de Fe) con pérdidas de espesor significativas, mientras que ciertos aceros inoxidables con alto contenido de cromo y níquel mostraron mayor resistencia, formando películas protectoras más estables. Asimismo, se evaluó el efecto de impurezas en la sal (cloruros, humedad) que aceleran los mecanismos corrosivos. La tesis propone estrategias de mitigación, como la adición de inhibidores o el control estricto de la composición de las sales, y sugiere el uso de aleaciones con recubrimientos especiales en tanques e intercambiadores. Como contribución, los hallazgos de Ruiz-Cabañas proporcionan datos esenciales para prolongar la vida útil de los sistemas de almacenamiento térmico en plantas CSP. Sus recomendaciones permiten seleccionar materiales estructurales más adecuados y medidas de mantenimiento (por ejemplo, filtrado de sales) para reducir la corrosión, mejorando la fiabilidad y sostenibilidad de la tecnología de almacenamiento térmico de energías solares concentradas.

También (Bailo Bobi, 2022) en otra línea de investigación, se enfocó en investigar sobre el reciclaje de paneles fotovoltaicos usando rutas químicas innovadoras, la metodología fue una combinación de experimentos de laboratorio para la extracción de materiales como el indio y el galio, esto unido a las simulaciones computacionales para optimizar las reacciones químicas, además, se evaluaron las propiedades eléctricas y

ópticas de los materiales recuperados, demostrando su potencial para competir con componentes vírgenes.

Por otra parte, (Abdelsalam, 2023) en su tesis doctoral muestra un nuevo concepto de receptor solar, basado en la exposición de un metal líquido, el concepto propuesto es un paso a la reducción de la discrepancia tecnológica que involucra la temperatura y la escala, para esto se llevó a cabo la caracterización con la revisión de tecnologías térmicas existentes, estas tecnologías innovadoras en las que están incluidos materiales refractarios y una ventana cerámica, el receptor propuesto se aplicó en una placa de energía y para aplicaciones a gran escala de alta temperatura.

En la revisión de investigaciones sobre desarrollo de tecnologías de energía solar térmica, una abarca el desafío de reducir la demanda de energía para enfriamiento en los hogares de Egipto y busca una manera de cubrir esa demanda mediante el uso de energía térmica generado por el sol, utilizando medidas de eficiencia energética, en el cual se verifica que las medidas tomadas incluyendo tratamientos térmicos han mejorado el rendimiento, también el resultado obtenido indica la factibilidad al utilizar la absorción solar para reducir el consumo (Elshamy, 2020).

En el caso (Leiva Padilla, 2020), la metodología se centró en la caracterización de materiales mecanomutables reciclados, el proceso mostró como se deben realizar las pruebas de resistencia térmica y mecánica en un laboratorio especializado, además de esas pruebas se realizaron ensayos de campo en pavimentos solares, como resultado se obtuvieron datos los cuales fueron analizados mediante modelado numérico con el fin de la durabilidad y eficiencia en condiciones reales de operación.

Dentro del ámbito del desarrollo de tecnologías solares, (Kuharat, 2021) realizó la investigación sobre el impacto que tiene en la absorción de calor el uso de los nanofluidos en colectores solares de absorción directa, también considerando las variaciones en la geometría, la tesis doctoral se enfocó en simular por método numéricos los sistemas de transferencia de calor usando los modelos avanzados como Tiwari-Das y el de Buongiorno, el ultimo permite establecer el comportamiento de los fenómenos de termofóresis y el movimiento browniano, además, se fortaleció la investigación con el

empleo de las herramientas ANSYS Fluent y Maple, los que permiten resolver problemas de transferencia de calor por convección y radiación, subraya el autor el potencial de los nanofluidos para mejorar la eficiencia energética y también la importancia de la optimización geométrica de los colectores.

Por su lado, para (Lin, 2022) en su trabajo doctoral es importante el desarrollo de mecanismo de materiales fototérmicos (óxidos de hierro y óxidos de hierro recubiertos con nanopartículas de sulfuro de cobre), los cuales pueden aumentar increíblemente en la superficie de la ventana el valor de temperatura durante la radiación solar y lo que genera una disminución considerable de transferencia de calor.

Con el objetivo de optimizar el uso de materiales reciclados en dispositivos solares, (Lan Gao, 2022), desarrolló tecnologías innovadoras y ecoamigables para la purificación de agua, combinando materiales reciclados y simulaciones numéricas avanzadas. El trabajo incluyó el diseño de una hoja absorbente de doble capa compuesta de silicón negro y espuma comercial, cuya porosidad fue optimizada mediante modelado numérico, logrando maximizar la eficiencia de conversión fototérmica, este procedimiento tenía por enfoque poder alcanzar una eficiencia del 88%, también empleando simulaciones numéricas para adaptar las propiedades estructurales y térmicas de los materiales, evidenciando también el impacto positivo de los materiales reciclados.

Otro de los enfoques destacados en una de investigación similar es el presentado por (Sreehari Sreekumar, 2023), quien desarrollo un estudio doctoral sobre la utilización de nanofluidos híbridos para sistemas híbridos térmicos/fotovoltaicos y como su aplicación influye en la absorción de calor en los colectores, su estudio se centró en la caracterización y optimización de las propiedades térmicas, ópticas y de estabilidad, también se determinaron correlaciones semiempíricas con el afán de predecir la conductividad térmica y capacidad calorífica, todo esto se pudo validar con un modelo CFD en el programa ANSYS Fluent, estos experimentos mostraron una mejora de la eficiencia térmica de hasta un 57.45%.

Para, (Javadi, 2024) en su tesis de investigación doctoral llevo a cabo un estudio experimental y validado por métodos numéricos, sobre el efecto de la incorporación de

materiales de cambio de fase(PCM), en sistemas de almacenamiento de energía térmica, la investigación destacó que gracias a las propiedades termo-físicas superiores de esos materiales, mejora la eficiencia térmica y la transferencia de calor, también se evaluaron nuevos métodos para la optimización de la conductividad térmica del fluido, gracias a sus propiedades termo-físicas superiores, mejoran la eficiencia y la transferencia de calor, reduciendo significativamente la resistencia térmica, la contribución de este trabajo fue establecer una base metodológica sólida la cual permite la integración de simulaciones numéricas y pruebas experimentales.

Tomando en cuenta otro aspecto importante, (Basuhi Ravi, 2024) estudió sobre las posibles limitaciones y oportunidades que tiene el reciclaje de los plásticos en los Estados Unidos, realizando una valiosa contribución en los que respecta a la integración de materiales reciclados en aplicaciones tecnológicas, enfocándose en tres tipos de plásticos, el tereftalato de polietileno (PET), polietileno (PE) y el polipropileno (PP), se exploran métodos avanzados de reciclaje, con el objetivo de integrar estos materiales en nuevas tecnologías renovables.

(Nkor, 2021) centra su investigación, en la comparación entre lo convencional y lo solar térmico, utilizando la evaluación ambiental y un marco tecnoeconómico, la evaluación ambiental para la innovación es relevante para la toma de decisiones, tomando en cuenta el ciclo de vida.

Marco teórico

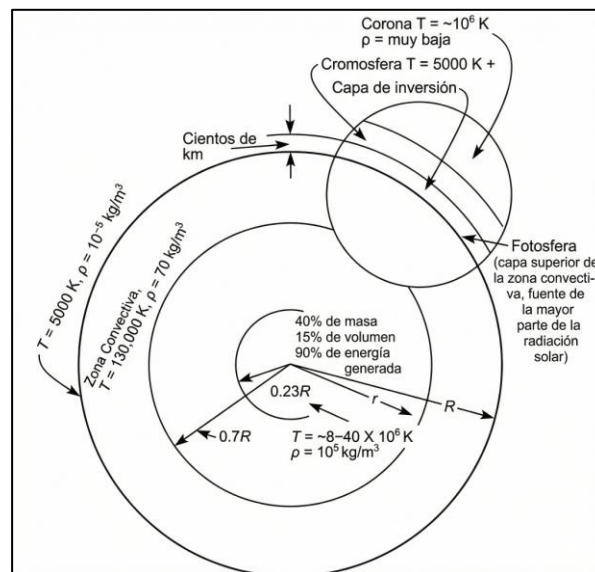
Energía solar

La radiación que llega al planeta Tierra desde la estrella más cercana (el Sol), la cual se encuentra a una distancia de 1.5×10^8 kilómetros, es producida en el interior de la estrella que es similar a un reactor de fusión nuclear, viaja en el vacío a la velocidad de la luz y tiene un valor de 3.8×10^{20} MW; otra forma de interpretar este número es por unidad de superficie con 63 MW/m^2 , ya que esta energía sale del Sol en todas las direcciones (Narvaez, 2021).

Considerando R_s como el radio solar, se estima que entre $0-0.23R_s$, se genera el 90% de la energía y en ese rango se encuentra concentrada el 40% de la masa del sol, en el rango de $0.7R-R$, se da el fenómeno convectivo en esta zona existen gases altamente ionizados, los cuales son los responsables de emitir continuamente radiación esta zona es conocida como fotosfera, principal fuente de la radiación solar (Blair, Beckman, & Duffie, 2020).

Figura 1

Estructura del sol

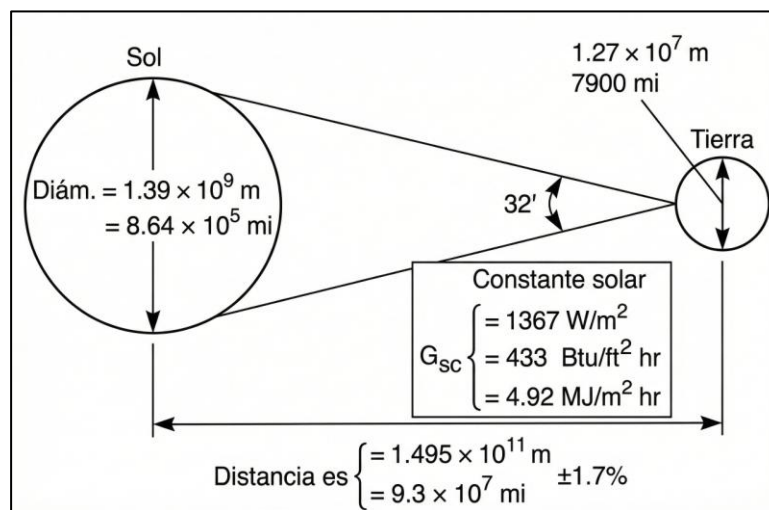


Tomada de (Blair, Beckman, & Duffie, 2020).

La radiación generada en la interacción geométrica entre el sol y la tierra, dan un valor de intensidad de radiación solar que casi no cambia, esa intensidad viene establecida por unidad de tiempo, que indica que es recibida en una unidad de área, esta relación es constante y toma el nombre constante solar, cuyo valor es de 1367 W/m^2 , de esta cantidad es importante analizar la parte absorbida y la dispersada por los elementos de la atmosfera terrestre (Blair, Beckman, & Duffie, 2020). La figura 2 muestra la relación geométrica y los valores de la constante solar, para las distancias entre el sol y el planeta.

Figura 2

Relación geométrica entre el sol y la tierra



Tomada de (Blair, Beckman, & Duffie, 2020).

Dentro de la superficie terrestre la radiación varía dependiendo de obstáculos y medios con los cuales interactúa la radiación solar, por ello es importante tener claro los conceptos de radiación extraterrestre, radiación solar total, radiación directa y radiación difusa (Durand, y otros, 2021).

Radiación extraterrestre: Es la radiación solar antes de ingresar a la atmosfera

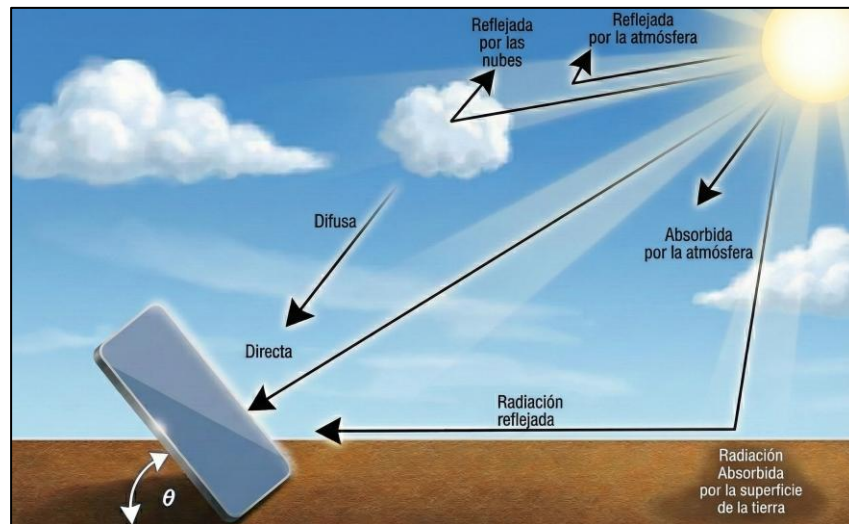
Radiación total: La radiación que ingresa a la atmosfera terrestre y estará sujeta a muchas interacciones:

Radiación directa: Es la radiación solar que llega al captador solar sin ser absorbida o dispersada por la atmosfera.

Radiación difusa: Es la radiación solar que sufrió un cambio al interactuar con las nubes o con otras superficies y luego de ese proceso llega al captador solar.

Figura 3

Tipos de radiación solar

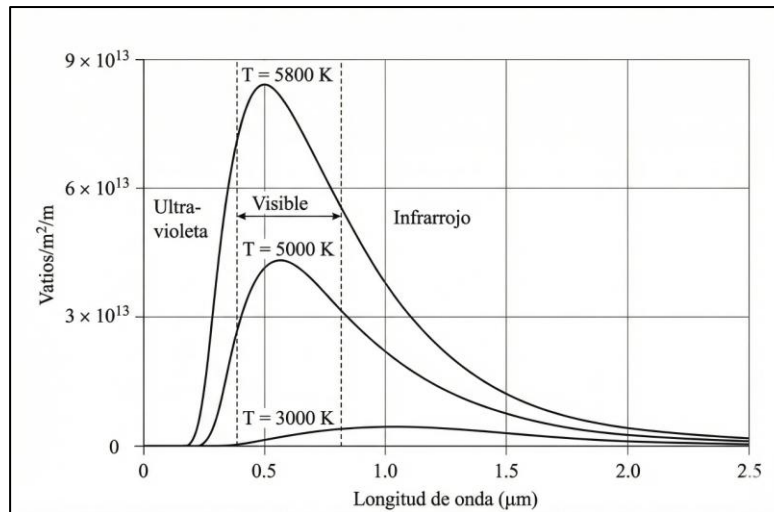


Tomada de (Durand, y otros, 2021).

El espectro de la radiación solar se desempeña aproximadamente como la de un cuerpo negro, lo que significa que es un radiador y un absorbedor perfecto de luz, esta característica no es fácil conseguir en fuentes de luz comunes, el conocimiento de la composición espectral del sol es de suma relevancia para entender el comportamiento de los materiales de los captadores, sobre todo para mejorar su rendimiento y aprovechamiento (Laguarda Cirigliano, 2021). En la figura 4 se indica el espectro de radiación solar.

Figura 4

Espectro radiación solar



Tomada de (Laguada Cirigliano, 2021).

Considerar el espectro de radiación, involucra tomar en cuenta que la energía solar es altamente variable, depende de algunos factores como; los meteorológicos, ángulo solar, las horas de sol, nubosidad, precipitaciones y la temperatura, además su carácter intermitente ya que en las noches no está disponible, el estudio de la geometría solar en el planeta es necesaria para sacarla el mayor provecho (Andrés Anaya, 2024).

Usos de la energía solar

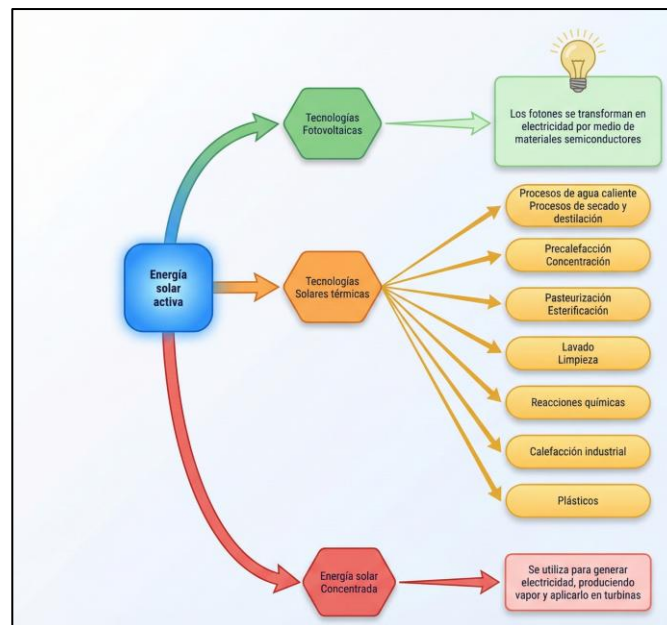
Para determinar los usos que se puede obtener a partir de la energía solar es necesario clasificarla en energía solar pasiva y energía solar activa.

En lo que refiere con energía pasiva, es la energía solar sin convertirla, es decir se usa directamente sus características térmicas y de luminosidad, en cuanto la energía activa la radiación solar se acumula y por medio de diversos dispositivos se la transforma la energía del sol en calor o en energía eléctrica (Bessa dos Reis de Freitas, 2023).

Poniendo un especial interés en las tecnologías activas a continuación se mostrará un resumen y las características más relevantes de la energía solar activa.

Figura 5

Clasificación de la energía solar activa



Tomada de (Bessa dos Reis de Freitas, 2023).

Para aprovechar la energía térmica es necesario capturarla, mediante dispositivos denominados colectores, también esta energía según a la temperatura en la que este puede ser clasificada en sistemas de baja y alta temperatura, si se trabaja en rangos inferiores a los 50°C será un sistema de baja temperatura los cuales se usan principalmente para el calentamiento de piscinas y uso sanitario (es decir calentamiento de agua para uso residencial), si el rango supera los 120°C , serian ya sistemas de media y alta temperatura, los cuales son comúnmente utilizados en el sector industrial, en la generación de vapor para luego utilizarlo en turbinas para generar electricidad (Contreras Castellanos, 2021).

En el área de la desalinización la energía solar es la mejor opción para el proceso, esto refiriéndose a las fuentes de energía no convencionales, es llamativa la relación entre la escases de agua dulce con la disponibilidad de energía solar, en las zonas que se más requiere el recurso vital es donde mayor cantidad de radiación solar existe, los destiladores solares imitan el ciclo hidrológico, en el cual es esencial la evaporación del agua, ese proceso de evaporación tiene como activador a la energía solar, además de

este proceso existen otros como la osmosis inversa y la destilación múltiple efecto, en las cuales también es necesario la energía térmica para producir la electricidad y el calor necesario para llevar a cabo los procesos (Al-Shail, 2020).

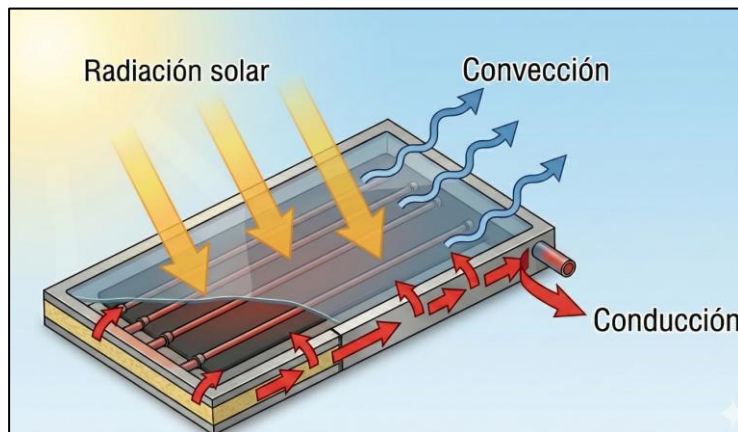
Energía solar térmica

Es la energía generada al transformar la radiación solar en energía calórica, cuando se transfiere ese calor a un fluido (De la Industria, 2020).

La transformación de la radiación solar en energía térmica se lleva a cabo por medio de mecanismos de transferencia de calor los cuales son tres; convección, radiación y conducción, la conducción se da por el contacto entre dos medios que se encuentren a una diferente temperatura lo cual genera un flujo de energía termina del medio que se encuentra a mayor temperatura hacia el medio que se encuentra a menor temperatura, en el caso de la convección también sucede por diferencia de temperaturas pero la transferencia de energía se da por el movimiento de materia entre regiones y en cuanto a la transferencia por radiación, está relacionada con el flujo de energía térmica originada por la diferencia de temperaturas entre dos cuerpos, pero con la característica que no es necesario un medio material para que se realice la transferencia de energía, es decir se realiza en el vacío (González V. , 2023). En la siguiente figura se indican la forma en que se transfiere el calor en un colector solar térmico plano.

Figura 6

Formas en las que se transfiere el calor en un colector plano



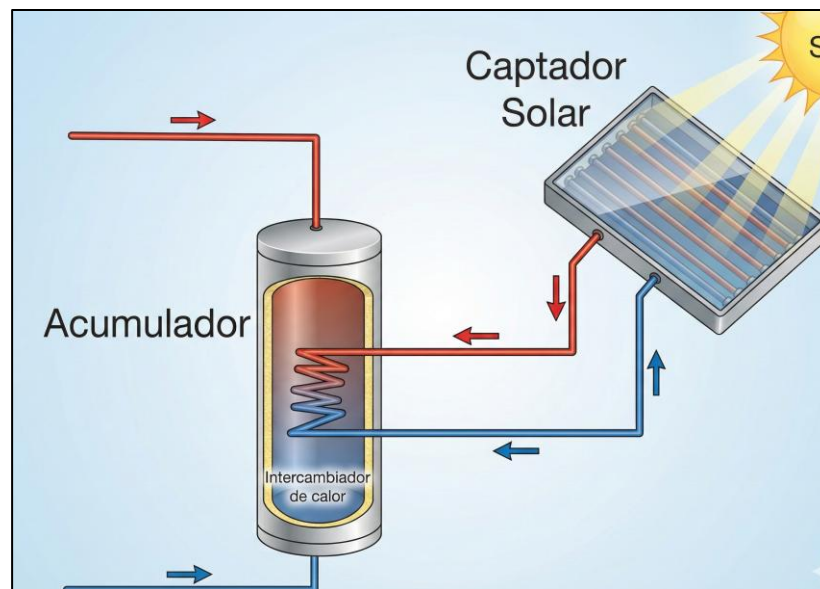
Elaboración propia

Dentro de las múltiples formas de emplear la energía solar térmica, el enfoque adecuado para esta investigación es el calentamiento de agua para uso sanitario, es necesario conocer los elementos que conforma una instalación térmica para agua caliente.

Los elementos de la instalación térmica son; el sistema de captación, es el elemento principal que transforma la radiación en energía térmica, para ello el material absorbente que lo compone se debe ser seleccionado de tal manera que garantice la absorción de calor, este absorbedor posteriormente transferirá el calor al agua para ser calentada, el sistema de acumulación permite acumular la energía en aquellos momento donde exista disponibilidad y luego utilizar cuando sea necesario, esta energía es posible guardarla como calor sensible, calor latente o energía química, otro sistema en mencionar es el sistema de intercambio de calor, en este sistema el agua caliente que fluye por el captador solar llega al lugar de almacenamiento y de ese lugar se transfiere ese calor al agua de la vivienda (Perez, 2024). En la siguiente figura se representa los elementos más importantes de una instalación solar para calentamiento de agua.

Figura 7

Instalación de agua caliente por energía solar térmica



Elaboración propia

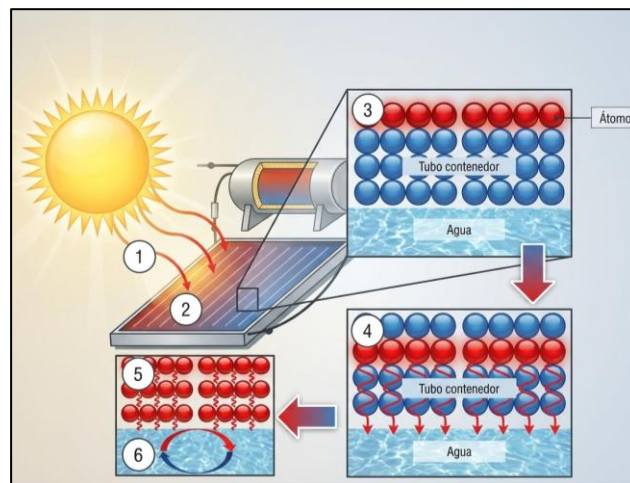
Tipos de colectores solares

Colectores Solares planos

Estos colectores están contenidos en una estructura en forma de caja, la cual contiene una cubierta transparente, aislante térmico y un absorbedor como sus elementos más importantes, de este el último puede estar fabricado por tubos o canales, por los cuales fluye un líquido que aumenta su temperatura por el calor aportado por el absorbedor, los materiales que se usan con frecuencia para el absorbedor son metales como el aluminio y el cobre, los cuales pueden tener un recubrimiento para mejorar sus propiedades térmicas específicas, para la cubierta transparente suele ser fabricada de vidrio templado o plásticos transparentes y para el aislamiento térmico espuma de poliuretano (Recent Advances in Electrical Engineering, 2021).

Figura 8

Flujo de energía solar térmica en una instalación de agua sanitaria



Tomada de (Abreu, 2022) .

Captadores solares con tubos de vacío

Se estructuran por tubos individuales, en ellos se genera un vacío o se llena de un gas inerte, con la finalidad de que las pérdidas de calor se mucho menores que otros colectores, en el interior de cada uno de estos tubos, se encuentran presentes los absorbedores encargados de generar la energía térmica necesaria para calentar al

liquido caloportador, en estos captadores se pueden diferenciar esencialmente diferencias dos elementos importantes, los tubos al vacío de vidrio de borosilicato y los absorbedores fabricados de aluminio o de cobre (Navarro, 2020).

Colectores de aire

Son usados generalmente en procesos industriales que involucren el calentamiento del aire, por ejemplo, procesos de ventilación, calefacción y secado agrícola, el funcionamiento de estos colectores aire se fundamentan en la captura de la radiación solar por una superficie absorbente con alta capacidad para absorber el calor por esa razón suele ser de color oscuro, se usa metales y luego se los pinta, la radiación que incide sobre el absorbedor se convierte en calor, el mismo que es transferido al aire circundante por convección, dicho aire fluye por el colector por medio de un ventilador o un mecanismo de circulación forzada (Perez, 2024).

Colectores Fotovoltaicos Térmicos

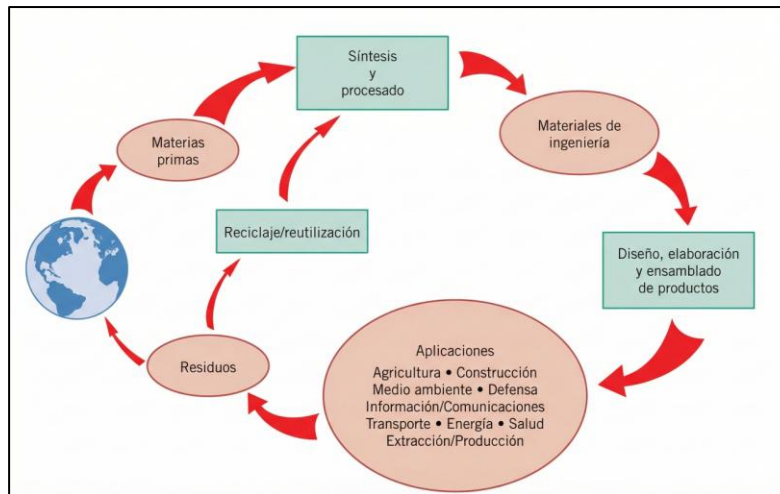
Los colectores fotovoltaicos térmicos generan al mismo tiempo electricidad y calor a partir de la radiación solar incidente, al igual que los paneles fotovoltaicos tradicionales que generan solamente electricidad, estos están constituidos por células fotovoltaicas para transformar la radiación en electricidad, además poseen un sistema para transferir el calor generado por las células fotovoltaicas hacia el fluido de trabajo, el cual podría ser el agua o una mezcla agua y glicol (Mejia, Prieto, Martínez, Contreras, & Chávez, 2023).

Materiales de reciclaje utilizados en la fabricación de colectores solares sus propiedades mecánicas y térmicas

Un material luego de que cumple con su ciclo de vida, podría ser procesado y volver a ser utilizado para lo que fue creado o para otros fines, reintegrándose nuevamente a un nuevo ciclo de vida, lo ideal sería que este proceso suceda por un número indeterminado de ocasiones. En la siguiente figura se indica el proceso ideal del ciclo de vida de un producto reciclado (Guilera & Garrell, 2021).

Figura 9

Ciclo de vida de un material reciclado



Tomada de (Guilera & Garrell, 2021).

Polietileno de Alta Densidad (HDPE)

Este polímero termoplástico el cual debido a sus propiedades mecánicas y térmicas es ideal para ser utilizado en una variedad de aplicaciones, los productos de envasado se han fabricado principalmente con polímeros, pues sus ventajas relacionadas con la claridad, resistencia, bajo costo, facilidad en procesamiento y con el avance de la nanotecnología a significado que el volumen que ocupan en comparación con materiales de envasado tradicionales, sea menor para cumplir la misma función, específicamente el polietileno es uno de los más versátiles (Rodríguez, 2022).

Tienen una fase amorfa, la cual le da elasticidad, se encuentra el grupo de polímeros llamados poliolefinas cuya formulación química es CH_2n , por eso obtiene la característica no polar a temperatura ambiente, se lo considera hidrofóbico, los polietilenos de alta densidad tienen pocas ramificaciones lo que le confiere una mayor cristalinidad la cual repercute directamente en sus propiedades (Aaron, Danyon, Charlotte, Kathryn, & Lawrence, 2022). A continuación, se detallan dichas propiedades

- Resistencia a la tensión: Este material posee una alta resistencia a la tensión lo que le permite soportar fuerzas sin deformarse o romperse, el valor aproximado de esta propiedad mecánica es 20-37 MPa (megapascuales) (Quesada, 2021).
- Tenacidad: Puede absorber energía sin fracturarse es decir tiene la característica de durar ante cargas cíclicas y de impacto el valor aproximado es de 20-100 (J/m²) (Julio/metro cuadrado) (Quesada, 2021).
- Flexibilidad: El Polietileno HDPE es bastante flexible y puede doblarse sin romperse, es ideal para obtener diferentes formas y configuraciones geométricas (Quesada, 2021).
- Conductividad térmica: Es relativamente baja, es decir que este material tiene pocas pérdidas de calor, ya que la conductividad térmica mide la cantidad de energía por unidad de longitud que fluye por un determinado material, el valor aproximado de la conductividad térmica es de 0.42-0.51 W/m.k (Watts por metro-kelvin) (Candadai, 2021).
- Punto de Fusión: 120-130 °C (Candadai, 2021).

Polipropileno (PP)

Es un tipo de polímero termoplástico, se obtiene a partir del proceso de polimerización de propileno y se caracteriza por su ligereza, resistencia y la versatilidad en aplicaciones, en los últimos años está siendo utilizada como material de aplicaciones ingenieriles, en el sector automotriz, productos para el hogar y muebles, en el primero en el sector automotriz los PP está reemplazando metales que se encuentran en el motor donde la temperatura de trabajo es alta y se requiere cada vez piezas menos pesadas para mejorar el rendimiento, disminución de costos y también reducir emisiones de CO₂ (Alpsten, 2021).

Son derivados del monómero C₃H₆ el cual es un hidrocarburo puro, es el segundo plástico sintético más producido en el planeta alrededor de 4 millones de toneladas, estos materiales ofrecen alta resistencia a álcalis y ácidos (Valdivia, 2022). Tiene un buen

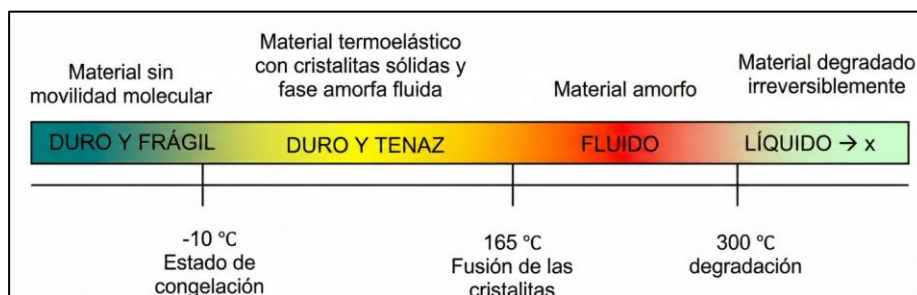
equilibrio de sus propiedades de polímero, siendo químicamente inerte no toxico, reciclable y demuestra estabilidad mecánica y térmica (Aragón, 2023).

Si se los estira excesivamente no recuperan su forma original, esto sucede cuando se supera el límite de elasticidad, si no se supera este limite el polipropileno regresa a su forma inicial, este comportamiento depende del tipo de polipropileno que sea, pues los homopolímeros son los que toleran cargas de mayor valor, cuando se someten a mayores temperaturas disminuye sus capacidades de carga, es decir va perdiendo características de rigidez (Hernández, 2020).

- Resistencia: Buena resistencia la tensión no se deforma fácilmente cuando actuar fuerzas de tracción sobre el material, el valor aproximado es de 30-40 MPa (Serra, 2021).
- Conductividad térmica: Tiene baja conductividad térmica, lo que lo hace un aislante térmico ideal, esta propiedad no es un parámetro dependiente del tipo de polipropileno se mantiene relativamente constante, cambia ligeramente cuando se agregan aditivos o materiales de refuerzo (Hernández, 2020), se puede considerar un valor aproximado de 0.14 (W/mk) (Abreu, 2022).
- Temperatura: La temperatura define sus principales características, de hecho, depende de dos temperaturas, la temperatura de transición vítrea y la temperatura de fusión (Hernández, 2020). En la siguiente figura se indica la variación de las propiedades con el incremento de la temperatura.

Figura 10

Evolución térmica del polipropileno



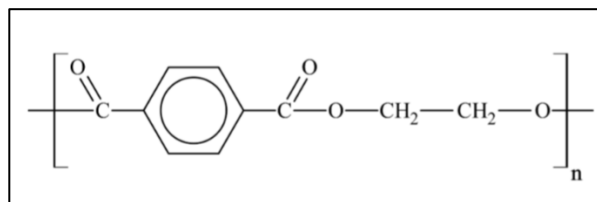
Tomada de (Hernández, 2020)

Plástico PET

Forma parte de la familia de los poliésteres y es el polímero más utilizado, su nombre es tereftalato de polietileno, pero se lo conoce más como poliéster, se obtienen por el proceso de polimerización de dos componentes esenciales, el etilenglicol y el ácido tereftálico (Seymour & Chrarles, 2021), es a base de petróleo, se usa en la fabricación de fibras, botellas de un solo uso y recipientes, debido a sus características mecánicas de resistencia y tenacidad, tiene una presencia desfavorable en ciertos ecosistemas, a pesar de ser uno de los plásticos más reciclados, el proceso no es suficiente para disminuir sus efectos negativos, su naturaleza no degradable permite tenerlo grandes cantidades lo hace necesario reutilizarlo e introducirlo nuevamente en el ciclo de vida de un producto (Hunter, 2021).

Figura 11

Estructura molecular del tereftalato de polietileno



Tomada de (Seymour & Chrarles, 2021)

Para lograr esto los procesos de reciclaje de PET se pueden categorizar de la siguiente manera:

Recuperación de energía: Este proceso genera calor y ese calor genera electricidad, pero tiene un efecto negativo al quemar este polímero ya que en el proceso se generan gases y residuos perjudiciales para la salud y el medio ambiente (Nieto, Basadre, & Argüelles, 2020).

Reciclaje biológico: Debido a su naturaleza no degradable, el PET es difícil de reciclarlo por procesos biológicos por su alto costo (Nieto, Basadre, & Argüelles, 2020).

Reciclaje químico: En este proceso se obtienen monómeros al descomponer las cadenas de PET, para esto se utiliza metanol, etilenglicol y agua, el resultado obtenido de la reacción se puede usar para crear un nuevo PET, con la desventaja de que el PET virgen está a muy bajo costo (Nieto, Basadre, & Argüelles, 2020).

Reciclaje mecánico: Este tipo de reciclaje se realiza posconsumo, haciendo gránulos con un extrusor, los mismos que servirán para tener nuevos productos como botellas, fibras y láminas, es el más común de los métodos (Nieto, Basadre, & Argüelles, 2020).

- Resistencia a la tracción: 55-80 MPa (De Viteri & Benítez, 2021).
- Conductividad térmica: La conductividad térmica aproximada de 0.15-0.24 (W/mk) (Obi, 2023).
- Temperatura: Punto de fusión es de 250°C-260°C (Obi, 2023).

Vidrio

Este material tiene características ventajosas, como la transmisión de luz, está constituido de materiales que se encuentran en gran cantidad en la naturaleza, el vidrio es bastante resistente a la compresión, pero no es así con el pandeo sobre todo cuando las planchas son muy grandes y delgadas, es completamente reutilizable sin perder sus características, no solo las tensiones pueden producir fallas y fracturas en el vidrio sino también la exposición a tensiones térmicas que producirían deformaciones elásticas que generarían fracturas, los tipos de vidrio más utilizados para la construcción son los sosa-lima y el de borosilicato (Nunes, Pinho, Cruz Fernandes, Almeida, & Santos, 2022). A continuación, algunas propiedades mecánicas de estos vidrios.

Tabla 3 Propiedades mecánicas del vidrio

Tipo de vidrio	Resistencia a la tracción (RT)	Resistencia a la compresión (C)	Módulo de elasticidad (E)	Densidad a 18°C (ρ)	Dureza	Coeficiente de Poisson (μ)	Calor específico (c)	Coeficiente medio de expansión térmica (α)
Soda-cal-sílice	20 MPa / recocido (6 MPa para cargas a largo plazos)	300-420 MPa	70 GPa	2500 kg/m ³	6 unidades en la escala de Mohs	0.2	0.72×10^3 J/(kg x K)	$9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Borosilicato	40 MPa / reforzado por calor 80 MPa / templado completo	260-350 MPa	60-70 GPa	2200-2500 kg/m ³	6 unidades en la escala de Mohs	0.2	0.8×10^3 J/(kg x K)	Clase 1: $3.1-4.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ Clase 2: $4.1-5.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ Clase 3: $5.1-6.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Fuente: (Nunes, Pinho, Cruz Fernandes, Almeida, & Santos, 2022)

Es importante conocer el comportamiento del vidrio tomando en cuenta sus propiedades térmicas.

Conductividad térmica: Posee una baja conductividad térmica, para el vidrio utilizado para ventanas está en un valor alrededor de 0.8-1.1 W/(m.k) (Arboleda, 2023).

Punto de Fusión: Este valor puede variar dependiendo de la composición y de las impurezas, el de silicato sódico-cálcico es el más utilizado comercialmente para la fabricación de contenedores de vidrio, botellas y ventanas, la sílice vítrea tiene una temperatura de ablandamiento de 1600°C, al añadirme el cálcico se ablanda a una temperatura mucho menor lo que repercute en su resistencia, para cambiar este efecto se añade la sódico para contrarrestar este efecto otorgándole durabilidad química, otra composición química común es el borosilicato, un ejemplo de esta composición el conocido pires, a nivel comercial es utilizado en utensilios que requieran alta resistencia, como envases farmacéuticos, materiales de laboratorio, el punto de ablandamiento es de 820°C, ideal para aplicaciones de alta temperatura (Spirrett, 2021).

Absorbancia solar: Es la cantidad de la energía solar absorbida por el vidrio, para el vidrio claro simple esta alrededor del 5%-7%, en un vidrio pintado o con

recubrimientos cambia dependiendo de las características de estos elementos (Liu, 2021).

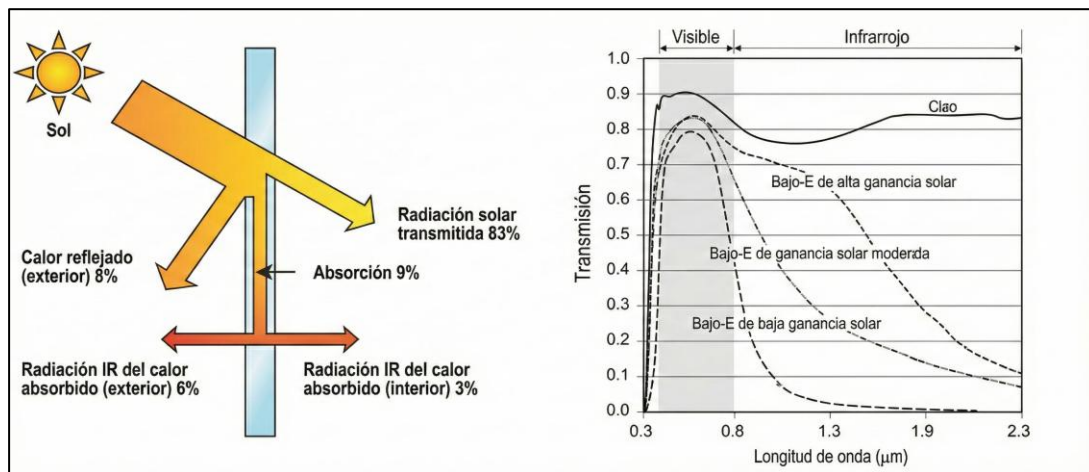
Factor Solar: Esta magnitud hace referencia a la cantidad de radiación solar total que ingresa a través del vidrio, para aplicaciones solares es importante que este valor sea lo mayor posible pues indicaría que existe más paso de radiación hacia el interior del panel, el vidrio tradicional de las ventanas sin recubrimientos tiene un valor alto de aproximadamente 0.78-0.85 (Liu, 2021).

Reflectancia Solar: Es el porcentaje de energía solar reflejada por el vidrio, esta cantidad es importante cuando se desea controlar el calor entrante, el vidrio monolítico claro este alrededor del 8% al 10% (Liu, 2021).

En gráfico se muestran las características ópticas del vidrio común.

Figura 12

Propiedades ópticas del vidrio



Tomada de (Liu, 2021)

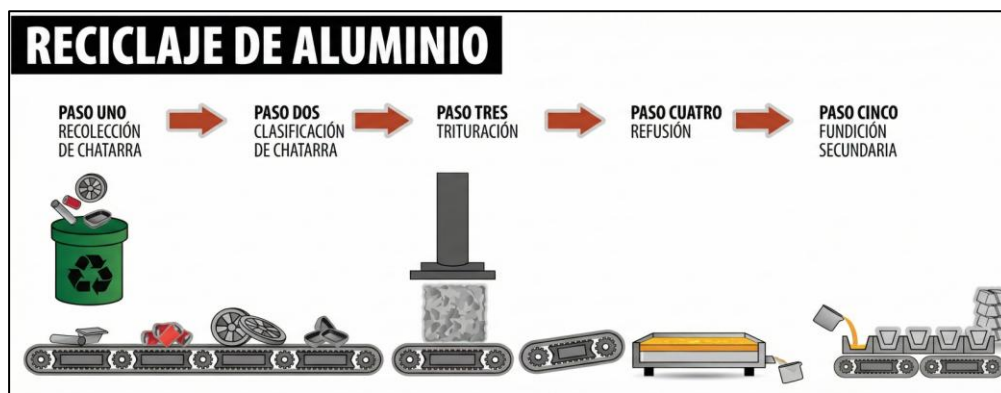
Aluminio reciclado

De manera general se puede obtener el aluminio mediante dos procedimientos, el primero cuando se utiliza el mineral bauxita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y el segundo por el proceso de reciclaje de aluminio usado, se considera al aluminio como un elemento abundante en la naturaleza, el cual no se presenta en la mundo en estado puro, en el proceso de reciclaje

intervienen cinco pasos: el primero obtener la chatarra de aluminio el cuál puede ser de sobrantes en procesos de fabricación o de material que ya han sido utilizados por los consumidores, tales como latas, ventanas, cableado, culatas, el segundo es la clasificación de la chatarra en donde es necesario diferenciar si el material esta con o sin recubrimientos, el tercero el triturado, el cuarto refundición y el ultimo la fundición (Ocio, 2020).

Figura 13

Proceso de reciclaje del aluminio



Tomada de (Ocio, 2020)

Este elemento químico presenta notables características, como la resistencia a la oxidación, alta conductividad eléctrica y térmica, gran ductilidad, permitiendo la obtención de múltiples formas (Triana, 2021).

Con el propósito mitigar el daño ambiental, algunos investigadores ven como alternativa al reciclaje en estado sólido, en el cual las pérdidas de material son notablemente menores, al formar perfiles se reduce en un 96% las emisiones de CO₂, al evitarse el proceso de refundición, el consumo de energía sería solamente del 10% con respecto a la fundición, dentro esas técnicas alternativas están, la extrusión directa en caliente, técnicas de técnicas de deformación plástica intensa, esta técnica mejora la resistencia y la tenacidad, también están el prensado angular, extrusión cíclica, torsión de alta presión y consolidación por fricción (Oberhausen, Zhu, & Cooper, 2022).

- Conductividad térmica: Tiene alta conductividad térmica 237 (W/mk) (Zhang & Li, 2023).
- Resistencia a la tracción: El aluminio tiene la capacidad para resistir fuerzas que intentan estirarlo, esta propiedad varía en función de sus componentes y tratamientos térmicos realizados, en promedio el valor de esta propiedad para aluminio puro es 90 MPa (Cantú-Fernández, Taha-Tijerina, González, Hernández, & Quinn, 2024).
- Temperatura de fusión: El aluminio puro cambia de sólido a líquido a una temperatura 660.10 °C (Aquima & Carlos, 2022).

Pinturas de aerosol de baja emisividad

Estos materiales reciclados se los puede usar como recubrimientos en aplicaciones de energías renovables, tomando en cuenta una de las propiedades más importantes como es la emisividad, la cual es la relación entre la cantidad de radiación térmica emitida con la que radia un cuerpo negro, es crucial en el diseño de tecnologías solares ya que determina la transferencia de calor a temperaturas altas, destacándose los materiales absorbedores solares selectivos multicapa, recubrimientos negros y aleaciones de vanadio, los recubrimientos selectivos solares W/WAIN/WAION/Al₂O₃, tienen buena estabilidad térmica hasta los 773 K, también los recubrimientos de espinela negra porosa $Cu_{0.5}Cr_{1.1}Mn_{1.4}O_4$, tiene mayor eficiencia de conversión solar, aumenta la captura de luz y la absorción solar (González de Arrieta, 2020).

Poliestireno Expandido (EPS)

Es una espuma termoplástica que aporta significativamente al aumento de los desechos plásticos (Ng, 2022), es muy estable lo que indica un largo periodo de degradación, ocupa mucho espacio en los vertederos, el reciclaje es una alternativa ecológica, no obstante, el gran volumen que ocupa eleva los costes de transporte, en la mayoría de las ocasiones reciclar los envases es más costoso que fabricar nuevos (Jiménez-Rojas, y otros, 2022).

Para producir este polímero aromático es necesario polimerizar el estireno por radicales libre, el poliestireno puede estar en estado sólido o espumado, a partir del poliestireno se obtiene el poliestireno expandido, por proceso de expansión de las perlas de poliestireno que posteriormente se fusionan unas con otras, otorgándole al EPS características excepcionales de aislante térmico, adaptabilidad, longevidad, ligereza y resistencia al agua, se utiliza en la construcción de paneles aislantes, empaques en productos desechables, tasas y platos (Jiménez-Rojas, y otros, 2022).

Sobre la propiedad de aislante térmico, esto es debido a su baja conductividad térmica, es decir tiene capacidad de retener calor y no tan buena capacidad de conducir calor, debido a su estructura celular que encierra el aire, este polímero se funde a una temperatura de 100 °C y cuando se enfría se endurece nuevamente (Livkiss, 2020).

Tabla 4 Conductividad térmica del EPS

Material	Densidad*, ρ (kg/m ³)	Contenido orgánico*, (%)	Conductividad térmica a 20°C, k** (W/(m K))
A	36.8±1.2	2.50±0.06	0.037
B	60.7±1.2	3.75±0.01	0.033
C	105.1±2.4	4.36±0.06	0.041
D	153.6±6.8	3.48±0.07	0.040

Tomada de (Livkiss, 2020)

Las propiedades mecánicas del EPS industrial, se puede obtener con la realización de algunos ensayos normalizados, el polietileno virgen EPSO, es decir contenido al 100 % poliestireno presenta una baja resistencia a la compresión con un valor de 0.11 MPa y un módulo de elasticidad de 2.86 MPa y en cuanto a la conductividad térmica para estos productos se encuentra ente 0.056-0.070W/mK (Sánchez, Caicedo, & Rebellón, 2023).

Poliuretano

Se emplean en múltiples áreas, su resistencia química y baja conductividad térmica lo hacen ideales como aislantes, son excelente complementos en la construcción, en contra tiene su baja resistencia al fuego y la toxicidad de sus gases, esto se puede sortear agregando fósforo al poliuretano (Izarra , 2021), se los puede obtener por diversas

rutas, la más utilizada es la policondensación entre un diol y un diisocianato, otra forma de obtenerlo es a partir de biomasa, es decir de fuentes natural, estas fuentes se agrupan en: azúcares, almidón, lignocelulosa y aceites vegetales, las propiedades mecánicas y térmicas de los poliuretanos de las fuentes mencionadas son las siguientes (Nanomateriales, 2022).

Tabla 5 Propiedades térmicas y mecánicas del poliuretano

Poliol		Isocianato	Poliuretano		
Aceite	Número OH		Temperatura transición vítrea (°C)	Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento a la rotura (%)
Colza	330-997	MDI	93.4	11.4-36.0	420-1189
	310-416		39-98	13.6-53.2	4.4-26.2
Ricino	190-234	Tolonato	62-72	11.1-17.4	140-209
Girasol	---	TDI	---	21.9-27.3	500-863
Ácido oleico	27-130	MDI	-33 a -58	0.6-6.9	47-110
Canola	275-323	MDI	70-85	61-67	4.6-5.9
	259-286		69-94	55-64	5.4-6.4

Tomada de (Nanomateriales, 2022).

Las espumas de poliuretano presentan una baja conductividad térmica de entre los 0.020-0.024W/mk, la siguiente tabla muestra las conductividades térmicas de algunos materiales aislantes (Godinez, y otros, 2023).

Tabla 6 Propiedades térmicas de algunos aislantes

		Conductividad térmica (W/m·°C)
Tipos de aislamientos	Poliuretano rígido	0,020
	Espuma de poliuretano	0,024
	Poliuretano proyectado	0,024
	Resina de melanina	0,034
	Espuma de polietileno	0,035
	Lana de vidrio	0,036
	Poliestireno	0,037
	Lana mineral	0,038
	Espuma elastomérica	0,042
	Silicato de calcio	0,054

Tomada de (Godinez, y otros, 2023).

Características de un colector solar plano para agua caliente

Cubierta transparente

- **Propiedades Ópticas:** Es necesario que la radiación solar que pase a través del material sea el valor más alto posible, para eso es necesario que la transmisividad sea de un valor elevado 85% (Giannetti, 2020), pues esta propiedad mide el valor de la radiación que pasa por la cubierta, así mismo la reflectividad debe ser lo menor posible para que la radiación solar no se refleje (Santillan, 2022).
- **Propiedades Mecánicas:** Debe soportar condiciones meteorológicas hostiles, tener resistencia a impactos sin romperse lo más común a lo que se somete son vientos, lluvia y granizo, además su resistencia al envejecimiento, a la misma radiación le garantizaran durabilidad (Giannetti, 2020).
- **Propiedades térmicas:** Es necesaria que sea baja para reducir la pérdida de calor (Giannetti, 2020).

Absorbedor

- **Propiedades Ópticas:** Las más relevantes para este componente son la absorptividad y la emisividad, lo ideal es tener una alta absorptividad 90 % (Giannetti, 2020), que garantice captar la máxima cantidad de radiación solar incidente y la segunda debe ser baja para impedir al máximo las pérdidas de calor por la radiación propia del dispositivo al calentarse (Cetina, 2019).
- **Propiedades Mecánicas:** Por lo general el líquido caloportador que circula por este dispositivo es el agua, el cual genera corrosión por esto importante que sea resistente a la corrosión y resistente a la deformación pues se trabaja con altas temperaturas y presiones (Giannetti, 2020).
- **Propiedades térmicas:** Es indispensable que la conductividad térmica sea lo más alta posible, para tener una distribución uniforme en la geometría de todo el absorbedor (Giannetti, 2020).

Tubos de circulación

- **Propiedades Mecánicas:** Resistencia a la corrosión y durabilidad, para mantener su funcionalidad durante el ciclo de vida del colector (Giannetti, 2020).

- Propiedades térmicas: Al igual que el absorbedor, los tubos deben tener una alta conductividad térmica para la asegurar la transferencia de energía térmica entre la placa absorbedora y el fluido de trabajo (Giannetti, 2020).

Aislamiento

- Propiedades Mecánicas: La resistencia a la compresión con el fin de mantener su forma en el tiempo, no debe absorber agua, pues la humedad disminuye las propiedades de aislante, los materiales utilizados de manera común son, (espuma de poliuretano, poliestireno, lana de vidrio y otros) (Vega & Ramírez, 2020).
- Propiedades térmicas: Para que un material se considere un aislante térmico la conductividad es inferior a 0.10 W/mk , un buen aislante podría ser el caucho celular que tiene un valor de 0.06 w/mk , la baja conductividad térmica permite reducir el calor perdido y mejorar la resistente al fuego (Rodríguez, 2020).

Estructura exterior o carcasa

- Propiedades Mecánicas: Rigidez para albergar a todos los componentes y resistir las condiciones inclemente de fuerzas externas, resistencia a la corrosión y durabilidad (Giannetti, 2020).
- Propiedades térmicas: Lo ideal es una baja conductividad térmica (Giannetti, 2020).

Simulación CFD

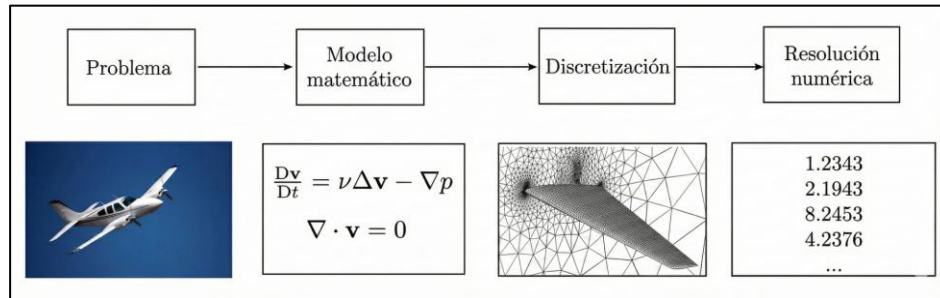
La simulación CFD (dinámica de fluidos computacional), emplea métodos numéricos y algoritmos en el análisis y la solución de problemas que están relacionados con el movimiento de fluidos, también permite modelar y predecir sometiendo a diferentes condiciones, de geometría, interacciones con sólidos, transferencia de calor, fundamentándose esencialmente para solución de las ecuaciones de Navier-Stokes (Arkadiusz, Bińkowska, Wojtasik-Kalinowska, Mustafa Salih, & Półtorak, 2023).

En CFD es necesario tener el modelo matemático del fenómeno físico, el cuál puede estar dado por una serie de ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales, unidas a unas condiciones de contorno, con los fluidos las ecuaciones que rigen este medio son las ecuaciones de Navier-Stokes, para que los programas computacionales puedan

resolver dichas ecuaciones se las debe discretizar es decir transformar las ecuaciones diferenciales en ecuaciones algebraicas (Saleem Almawla, Mohammed Lateef, & Hatem Kamel, 2022).

Figura 14

Proceso de solución por CFD



Tomada de (Saleem Almawla, Mohammed Lateef, & Hatem Kamel, 2022).

Dentro de las leyes fundamentales de la simulación CFD están:

Ley de la continuidad o conservación de la masa: La cantidad de masa permanece constante solamente se desplaza de un lugar a otro, es decir la masa con cambia en un flujo (Gustafsson, 2022).

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0$$

Donde:

$\vec{u}$ Vector de velocidad del fluido

∇ Operador gradiente

Ley conservación de momentum (Navier-Stokes): La conservación está basada en la segunda ley de newton, para los fluidos estable que un cambio en el

momentum del fluido es igual a la sumatoria de las fuerzas actuando sobre él (Gustafsson, 2022).

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{u} + \vec{f}$$

Donde:

ρ Densidad del fluido

t Tiempo

p Presión

μ Viscosidad

$\vec{f}$ Fuerza externa (Puede ser relacionada con la gravedad)

Ley conservación de energía: En el contexto de los fluidos, explica que la una variación en la energía interna de un fluido es igual a la diferencia ente el calor agregado al fluido y el trabajo realizado por el fluido (Gustafsson, 2022).

$$\rho \cdot c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (k \nabla T) + S$$

Donde:

c_p Calor especifico a presión constante

T	Temperatura
k	Conductividad térmica
S	Fuente de calor

Adicional cuando se analiza un modelo de turbulencia es necesario utilizar un modelo que simule estas condiciones, se usan a menudo modelos k-épsilon y k-omega, en el caso del primero el cual es uno de los más utilizados por su eficiencia computacional, es adecuado para flujos de alta turbulencia, el segundo se usa en flujos con regiones de separación (Adanta, Fattah, & Muhammad, 2020).

También es necesario mencionar otros principios a tomar en cuenta en la simulación por CFD

Discretización: Se refiere a la utilización técnicas numéricas, como elementos finitos, volúmenes finitos o el de diferencias finitas, reduciendo el problema en pequeños elementos que integren el dominio de interés (Lona, 2022).

Los modelos de discretización más usados son:

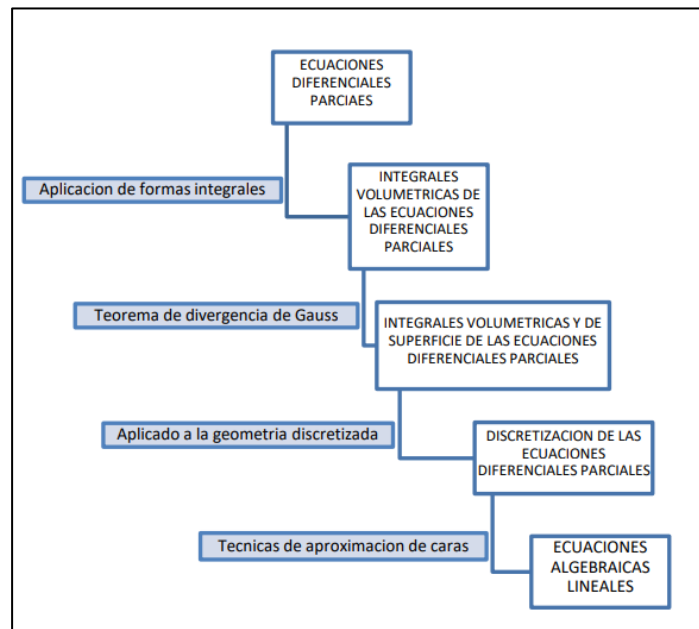
Método de diferencias finitas: Los modelos matemáticos de entrada se presentan con ecuaciones de tipo diferenciales, los valores que se obtienen son aproximaciones en términos de los valores nodales de la función, su desventaja es que se debe tener especial cuidado con su aplicación en dominios con geometría irregulares (Saleem Almawla, Mohammed Lateef, & Hatem Kamel, 2022).

Métodos de volúmenes finitos: El modelo matemático de entrada son integral de las ecuaciones, los dominios se dividen en los conocidos volúmenes de control, las ecuaciones integrales se aproximan a cuadraturas, los nodos en este modelo representan los centroides de los volúmenes tridimensionales formados, la ventaja es el uso en todo

tipo de mallado, este medio es usado por los softwares de CFD como; ANSYS FLUENT y SolidWorks entre otros (Saleem Almawla, Mohammed Lateef, & Hatem Kamel, 2022).

Figura 15

Método de volúmenes finitos



Tomada de (Aulestia, 2020).

Modelado de turbulencia: Se usa modelos de turbulencia promedios para simular el efecto sin tener que resolver a una escala detallada ya que representaría el consumo de recursos computacionales (Lona, 2022).

Condiciones de contorno: Muestra la situación en la cual se encuentra la frontera y sus condiciones iniciales, así como también las propiedades físicas del medio, las condiciones de contorno pueden estar relacionadas con, velocidad, presiones, temperatura y otras (Lona, 2022).

Verificación y validación: Un modelado CFD es susceptible de errores y es necesario poderlos cuantificar y con ese análisis se permite posteriormente validar en

qué medida el modelo computacional es una representación precisa de fenómeno físico real (Lona, 2022).

Técnicas de mallado

Existen dos grandes grupos de mallas, las estructuradas y la no estructuradas, la estructuradas son muy eficiente, en una dimensión son dos elementos conectados, en dos dimensiones son cuadriláteros y en tres dimensiones son hexaedros, permiten tener una mejor convergencia, su limitante es la dificultad de generarlas en complejas geometrías, las no estructuradas se diferencian por usar triángulos en el caso de dos dimensiones y tetraedros en el de tres dimensiones, en geometrías complejas estos últimos dan mejores resultados que las estructuradas (García, Gil, Navarro, & Quintero, 2020).

Según (Ríos, y otros, 2020) la clasificación de las técnicas de Mallado estructurado y no estructurado son:

Los estructurados

1. Métodos Algebraicos
 - a) Transformación en geometrías canónicas
 - b) Interpolación transfinita
2. Métodos basados en EDPs
3. Métodos de Crecimiento estructurado
4. Métodos de Superposición-Deformación de Retícula

Los no estructurados

1. Métodos de Delaunay-Voronoi
2. Métodos por frente de Avance
3. Cuadriláteras o hexaédricas no estructuradas
 - a) Directa
 - b) Indirecta

4. Metodología Multibloques

Mallado por método algebraico

Concretamente el método de interpolación transfinita tiene por propósito generar puntos de la malla interna utilizando los puntos de la frontera o superficie, con una combinación de funciones de interpolación lineal a través de las fronteras, para poder calcular los puntos en el interior del dominio (Sadrehaghighi, 2020).

Mallado basados en EDPs

Este método consiste en generar malla utilizando tres tipos de ecuaciones diferenciales parciales: elípticas, parabólicas e hiperbólicas, la solución de problemas de frontera son las aplicaciones más comunes de las EDPs, las coordenadas resultantes son las soluciones del sistema, si las coordenadas están definidas en la totalidad de la frontera cerra las ecuaciones serán de tipo elíptico y por lo contrario si las coordenadas están definidas solo en una parte de la frontera se utilizará ecuaciones de tipo parabólicas o hiperbólicas (Sadrehaghighi, 2020).

Método por frente de Avance

Se modifica el dominio original por la remoción consecutiva de triángulos empezando en sus bordes, la triangulación se usa para la generación de mallas no estructuradas, es uno de los métodos más rápidos, se genera definiendo un método para conectar un conjunto de puntos arbitrarios, esos triángulos no se interceptan (Tizón, Becerra, Bercebal, & Grabowsky, 2023).

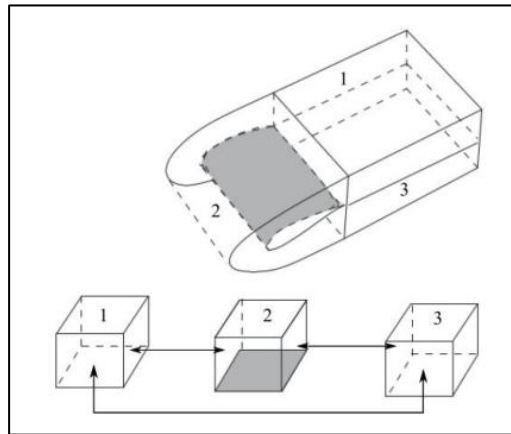
Método de mallado Multibloques

Una de las técnicas más utilizadas en el mallado es descomponer el dominio en bloques, es decir segmentar el bloque más grande en bloques de menor tamaño, cada bloque más pequeño posteriormente se genera una malla individual, su ventaja principal el estudio individualizado de la geometría específica de cada bloque, para ello es necesario una transferencia adecuada de información ente cada malla, además que

permite también refinar solamente en las regiones que así lo requieran, la desventaja sin duda es el especial cuidado en el mallado de la unión entre los bloques (Velasco, 2020).

Figura 16

Dominio Multibloques



Tomada de (Velasco, 2020).

Ecuaciones matemáticas utilizadas por el método volúmenes finitos en (CFD) y su discretización

La mecánica de fluidos permite determinar el comportamiento de gases y líquidos, en los cuales se verifican el cumplimiento de leyes de la continuidad, cantidad de movimiento, primera y segunda ley de Newton, las ecuaciones que gobiernan ese comportamiento son la ecuaciones de Navier-Stokes, no existe una solución general para dichas ecuaciones, por ello no es factible hallar una solución analítica a los diferentes problemas ingenieriles, por esto es necesario utilizar una herramienta de cálculo de análisis numérico, una de ellas la mecánica de fluidos computacional (CFD) (Rojas, Anicama, Cruz, & Cataño, 2023).

Para mostrar la metodología de volúmenes finitos usada por los programas computacionales, a continuación se indica el proceso de discretización, para un modelo de advección-difusión, este proceso se puede aplicar para cualquier ejercicio que se vaya a resolver por volúmenes finitos, el término volúmenes finitos se usa tanto en para

problemas en una, en dos o tres dimensiones, el método según (Enrique, Arturo, Manuel, & Israel, 2022) y (Palacio Cano, 2024) es.

Para un problema en una dimensión tenemos la ecuación de advección-difusión.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -c \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (1)$$

Donde:

u Es una función o cantidad física que se esté estudiando y su cambio en el tiempo en el contexto del intercambio de energía térmica “ u ” puede ser la temperatura del material a través del cual se produce transferencia de calor por conducción (difusión de calor) y convección (Advección de calor)

c Velocidad de advección

t Tiempo

x Coordenada espacial unidimensional

v Coeficiente de difusión

$\frac{\partial u}{\partial t}$ Derivada parcial de u con respecto a t

$\frac{\partial u}{\partial x}$ Derivada parcial de u con respecto a x

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

Segunda derivada parcial de u con respecto a x

La ecuación 1 para resolverla por el método de volúmenes finitos, se debe expresar como derivados de orden 1, para luego poder integrarlas sobre un volumen.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial(cu)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (2)$$

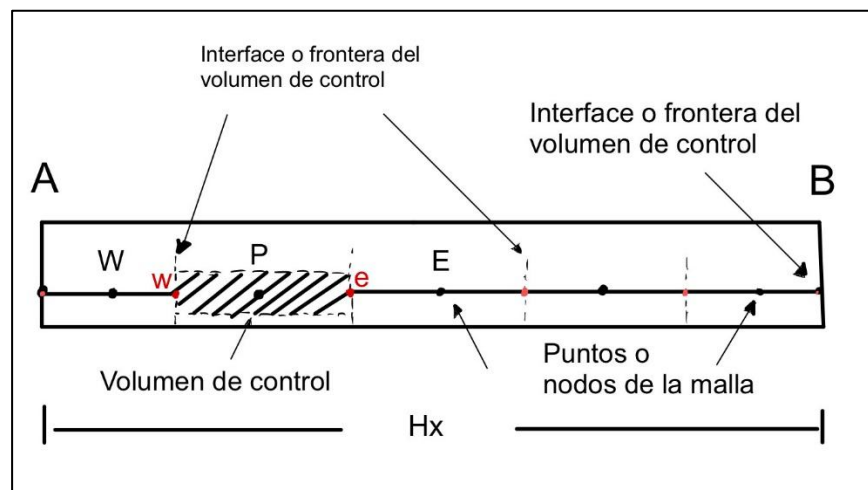
Se integra la ecuación 2 sobre un volumen

$$\int_V \frac{\partial u}{\partial t} dV = - \int_V \frac{\partial(cu)}{\partial x} dV + \int_V \frac{\partial}{\partial x} \left(v \frac{\partial u}{\partial x} \right) dV \quad (3)$$

Para discretizar la ecuación 3 se define un dominio de pequeños volúmenes en el caso de una sola dimensión se refiere a segmentos.

Figura 17

Representación de volúmenes de control en una dimensión



Tomada de (Enrique, Arturo, Manuel, & Israel, 2022)

“W” es el oeste, “w” es el límite integración inferior del volumen de control “P” es el centro del volumen de control, lugar dónde se requiere determinar las características, “e” es el límite superior y la “E” es el este.

Establecida la sección de volumen se integra la ecuación 3 en los límites indicados, utilizando el teorema de Gauss, el que permite la transformación de las integrales volumétricas a otras integrales de superficie.

$$\int_w^e \frac{\partial u}{\partial t} dx = - \int_w^e \frac{\partial (cu)}{\partial x} dx + \int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(v \frac{\partial u}{\partial x} \right) dx \quad (4)$$

Se integra el lado derecho

$$\int_w^e \frac{\partial u}{\partial t} dx = -cu_w^e + v \frac{\partial u^e}{\partial x_w}$$

$$\int_w^e \frac{\partial u}{\partial t} dx = -c(u_e - u_w) + v \frac{\partial u}{\partial x_e} - v \frac{\partial u}{\partial x_w} \quad (5)$$

De la ecuación 5 se determina la aproximación para cada termino pintado, es necesario realizar interpolaciones para determinar sus aproximaciones es decir los valores internos en el dominio se interpolan a los valores externo.

$$\int_w^e \frac{\partial u}{\partial t} dx \approx \frac{\partial u_p}{\partial t} \Delta x \quad (6)$$

De la ecuación 6 el término $\frac{\partial u_p}{\partial t}$ se puede seguir discretizando con métodos para derivadas temporales.

$$u_e \approx \frac{(u_p + u_E)}{2} \quad (7)$$

$$u_w \approx \frac{(u_p + u_w)}{2} \quad (8)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x_e} \approx \frac{(u_E - u_p)}{\Delta x} \quad (9)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x_w} \approx \frac{(u_p - u_w)}{\Delta x} \quad (10)$$

Reemplazando la ecuación la ecuación 6, 7, 8, 9 y 10 en la ecuación 5.

$$\frac{\partial u_p}{\partial t} \Delta x = -c \left(\frac{(u_p + u_E)}{2} - \frac{(u_p + u_w)}{2} \right) + v \frac{(u_E - u_p)}{\Delta x} - v \frac{(u_p - u_w)}{\Delta x} \quad (11)$$

La ecuación 11 es la discretización la ecuación.

Modelo de advección-difusión para dos dimensiones y tres dimensiones (Enrique, Arturo, Manuel, & Israel, 2022).

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\vec{c} \cdot \nabla \varphi + v \nabla^2 \quad (12)$$

Donde:

φ Es una función o cantidad física que se esté estudiando

$\vec{c}$ Vector velocidad de advección

t Tiempo

∇ Operador Nabra (Derivadas parciales)

v Coeficiente de difusión

La ecuación 12 se expresa de la siguiente forma

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{c}\phi + \nabla \cdot v\nabla \phi \quad (13)$$

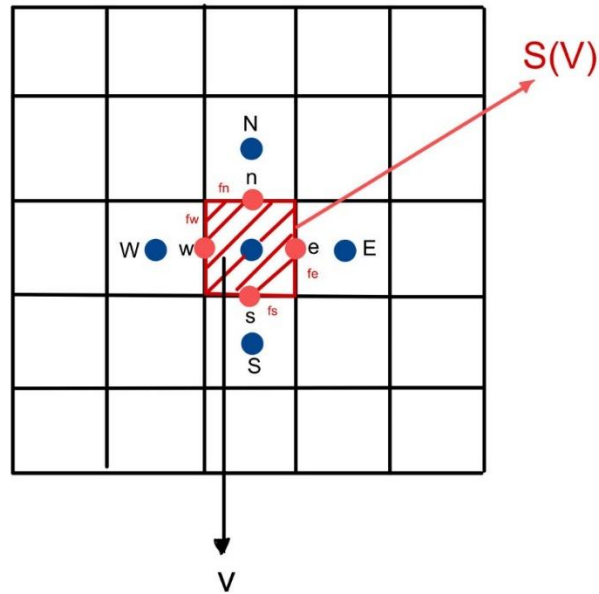
Se integra la ecuación 13 sobre un volumen

$$\int_V \frac{\partial \phi}{\partial t} dV = - \int_V \nabla \cdot \vec{c}\phi dV + \int_V \nabla \cdot v\nabla \phi dV \quad (14)$$

Para discretizar la ecuación 14 se define un dominio de pequeños volúmenes en el caso de dos dimensiones sería.

Figura 18

Representación de volúmenes de control en dos dimensiones



Tomada de (Enrique, Arturo, Manuel, & Israel, 2022)

“W” es el oeste, “w” es el límite integración inferior del volumen de control en el eje “x”, “P” es el centro del volumen de control es decir dónde queremos determinar las propiedades, “e” es el límite superior en el eje “x”, la “E” es el este, “N” es el norte y “S” es el sur, “s” y “n”, son el límite inferior y superior en el eje “y” respectivamente.

Además, fn, fs, fw, fe, son bordes de las celdas.

De manera similar a la que se hizo para integrar las ecuaciones en una dimensión también en dos dimensiones, se establece la región del volumen de control y sus límites, para aplicar el teorema de Gauss el cual permite la obtención de integrales de superficie a partir de las integrales de volumen.

$$\int_V \frac{\partial \varphi}{\partial t} dV = - \int_{S(V)} \vec{c}\varphi \cdot \hat{n} dS + \int_{S(V)} v \nabla \varphi \cdot \hat{n} dS \quad (15)$$

$\hat{n}$ es el vector normal a cada una de las caras.

Discretizando cada una de las integrales

$$\int_V \frac{\partial \varphi}{\partial t} dV \approx \frac{\partial \varphi_P}{\partial t} \Delta V \quad (16)$$

$$\int_{S(V)} \vec{c}\varphi \cdot \hat{n} dS = \sum_{fs, fe, fn, fw} (\vec{c}\varphi)_f \cdot \hat{n}_f \Delta S_f \quad (17)$$

$$\int_{S(V)} v \nabla \varphi \cdot \hat{n} dS = \sum_{fs, fe, fn, fw} v (\nabla \varphi)_f \cdot \hat{n}_f \Delta S_f \quad (18)$$

De la ecuación 17 se resuelve el sumatorio

$$\sum_{fs,fe,fn,fw} (\vec{c}\varphi)_f \cdot \hat{\mathbf{n}}_f \Delta S_f = c_y \varphi_s \Delta x - c_x \varphi_w \Delta y - c_y \varphi_n \Delta x + c_x \varphi_e \Delta y \quad (19)$$

De la ecuación 18 se resuelve el sumatorio

$$\sum_{fs,fe,fn,fw} v(\nabla\varphi)_f \cdot \hat{\mathbf{n}}_f \Delta S_f = v \frac{\partial\varphi}{\partial y_s} \Delta x - v \frac{\partial\varphi}{\partial x_w} \Delta y - v \frac{\partial\varphi}{\partial y_n} \Delta x + v \frac{\partial\varphi}{\partial x_e} \Delta y \quad (20)$$

La discretización de las ecuaciones diferenciales generadas, así como las interpolaciones son:

De la ecuación 16

$$\frac{\partial\varphi P}{\partial t} \Delta V = \frac{\partial\varphi P}{\partial t} \Delta x \Delta y \quad (21)$$

Las discretizaciones e interpolaciones de las ecuaciones 19 y 20 son:

$$\varphi_s \approx \frac{(\varphi_P + \varphi_S)}{2} \quad (22)$$

$$\varphi_w \approx \frac{(\varphi_W + \varphi_P)}{2} \quad (23)$$

$$\varphi_n \approx \frac{(\varphi_N + \varphi_P)}{2} \quad (24)$$

$$\varphi_e \approx \frac{(\varphi_P + \varphi_E)}{2} \quad (25)$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial y_s} \approx \frac{(\varphi_P - \varphi_S)}{\Delta y} \quad (26)$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial x_w} \approx \frac{(\varphi_P - \varphi_W)}{\Delta X} \quad (27)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial y_n} \approx \frac{(\phi_N - \phi_P)}{\Delta y} \quad (28)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial x_e} \approx \frac{(\phi_E - \phi_P)}{\Delta X} \quad (29)$$

Este es el método para resolver problemas de CFD, los programas computacionales los resuelven en cada proceso realizado, los softwares como ANSYS y SolidWorks

Métodos para determinar las propiedades térmicas y ópticas de los materiales

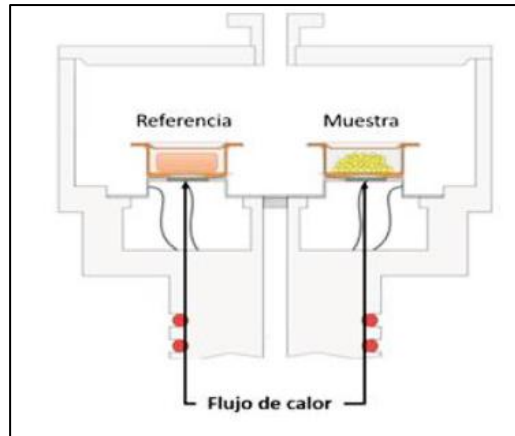
Métodos para determinar propiedades térmicas

Calorimetría diferencial de barrido: Es un método cuyo propósito esencial es conocer la medida del intercambio de calor, considerando que gran cantidad de procesos físicos y químicos, generan o consumen calor, además es uno de los métodos utilizados con mayor frecuencia para determinar las propiedades térmicas, esencialmente el método consiste en la medición de la tasa de variación del calor fluyendo entre una muestra y una referencia, las cuales son expuestas a una serie controlada de temperaturas, existen dos tipos; los de compensación de potencia y los de flujo de calor, cualquiera de ellos permite caracterizar las propiedades térmicas como; temperatura de transición vítrea, cristalización, punto de fusión entre otras (González L. , 2021).

Este método utiliza dispositivos que integran sistemas de refrigeración que permiten medir las propiedades de los materiales incluso a temperatura por debajo de cero grados Celsius, ideal para caracterizar polímeros (Kumar Singh & Singh, 2022), en ciencia de materiales el DSC (Calorimetría diferencial de barrido), significa una ventaja por su alto grado de sensibilidad y velocidad en el análisis (Zalazar, Góngora, Legrá, Retirado, & Caneghem, 2021).

Figura 19

Funcionamiento del método DSC



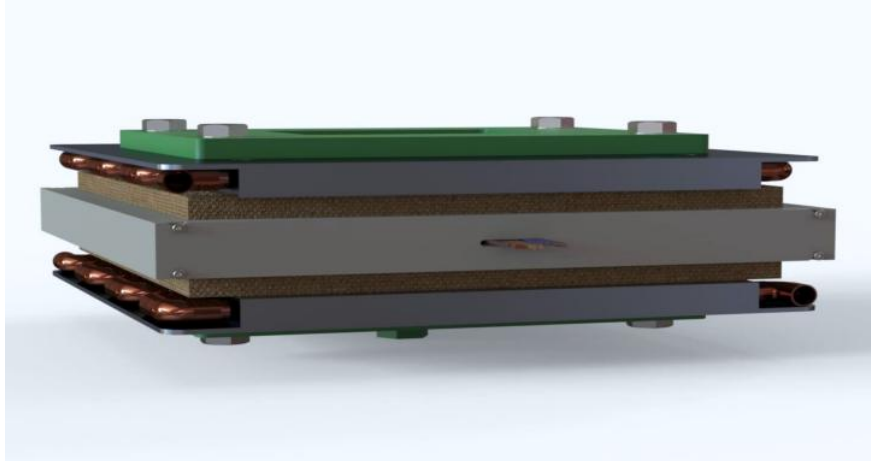
Tomada de (Zalazar, Góngora, Legrá, Retirado, & Caneghem, 2021).

Conductividad térmica mediante el método de placa caliente: En este método se ubica una probeta en medio de una placa caliente y una placa fría, después de eso se toma los datos del calor que fluye por la probeta cuando llega al estado estacionario es decir independiente del tiempo, la ventaja de este método es que se puede usar para determinar la conductividad térmica de materiales reciclados y sus configuraciones, lo que permite realizar estudios de eficiencia energética (Muñoz, y otros, 2021).

Considerado el método más eficiente para obtener la conductividad térmica de materiales aislantes, basando su funcionamiento en la ley de Fourier, se asume que la transferencia de calor se da sobre una placa infinita, garantizando un flujo unidireccional lo cual simplifica el problema, cuando las placas alcanzan el equilibrio transitorio y conociendo las dimensiones geométricas de las probetas y la cantidad de calor utilizado, se puede calcular la conductividad térmica del material, por lo general el dispositivo de medición consta de dos placas frías y una caliente aunque hay otras configuraciones según la norma ASTM (Díaz, Hernández, Quiñonez, Ortiz, & López, 2021).

Figura 20

Dispositivo medidor conductividad térmica de placa caliente



Tomada de (Díaz, Hernández, Quiñonez, Ortiz, & López, 2021)

Análisis termogravimétrico: En este método una muestra es expuesta a variaciones de temperatura calentándola y enfriándola, estas acciones producen variaciones en su peso, con esa información es posible determinar la estabilidad térmica (Castells, 2021).

El estudio cambios a los que son sometidos los materiales al variar la temperatura son indispensables en aplicaciones, un análisis termogravimétrico permite determinar la degradación del material con la variación de la temperatura, existen materiales que se volatilizan más rápido lo que significa una pérdida de peso, en los metales el método ayuda a entender el proceso de oxidación cuando se exponen al aire (Reinoza, 2021).

El equipo tecnológico capaz de realizar las mediciones está constituido por calorímetros, crisoles, hornos y termocuplas, las ultimas son las encargadas de regular la temperatura, los crisoles dependen del tipo de material que se está analizando, en cuanto a los hornos podrían llegar hasta una temperatura de 1600°C (Aguilar, 2020).

Figura 21

Dispositivo termogravimétrico



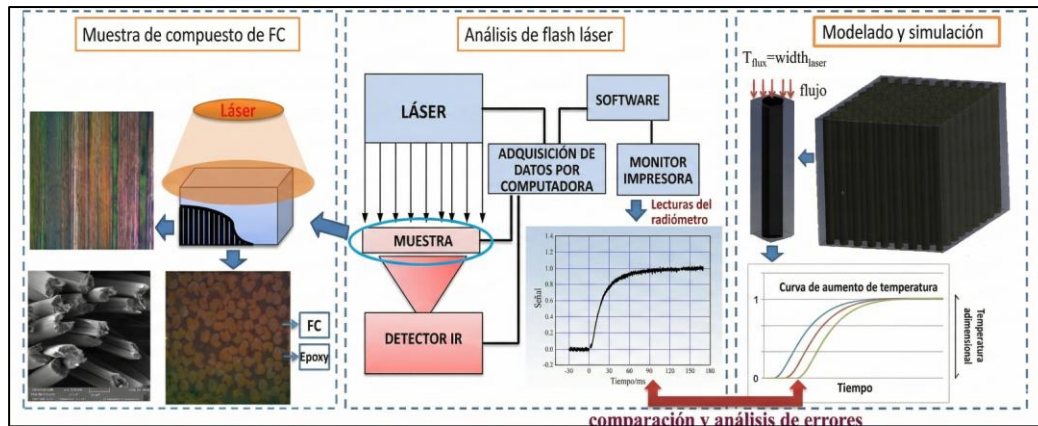
Tomada de (Aguilar, 2020).

Método Flash Láser: El resultado de la aplicación de este método es la obtención de la difusividad térmica, que indica la velocidad de transferencia del calor en el material, es ampliamente utilizada en materiales sólidos, de los cuales no se necesita una cantidad significativa, esos sólidos interactuarán con el láser de energía en una de las caras adsorbiendo el calor y en la otra se registra el valor de temperatura alcanzado (Roque, 2023).

Conociendo la densidad, el calor específico y la difusividad se puede calcular el valor de la conductividad térmica, actualmente se usa para determinar la conductividad de plásticos, metales y materiales cerámicos, además como su fuente de energía no es la energía eléctrica convencional puede usarse en una amplia gama de materiales con alta conductividad térmica y eléctrica (Castán, 2021).

Figura 22

Método Flash Láser para determinar la difusividad térmica



Tomada de (Roque, 2023).

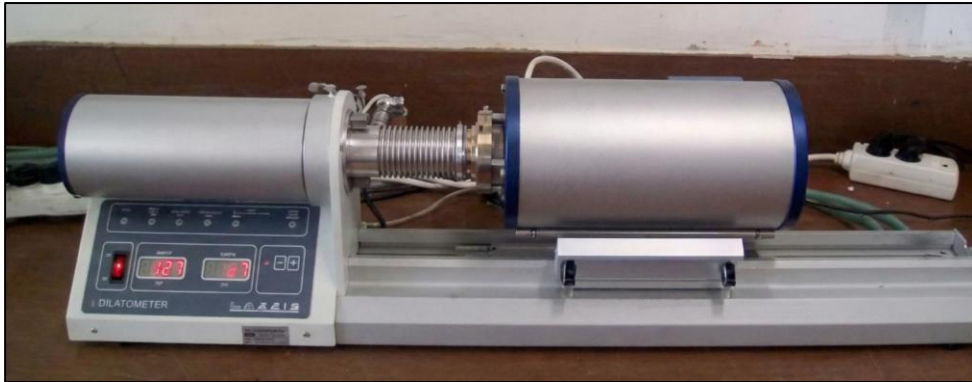
Dilatometría: Permite conocer directamente el valor del coeficiente de expansión térmica de un material, al someterlo a un incremento controlado de temperatura, como consecuencia de esta acción el tamaño del cuerpo en análisis cambia, el cambio de tamaño puede ser en una u otra dirección dependiendo de la sustancia en estudio (Bubnoff, 2022).

La técnica es aplicable para caracterizar una gran cantidad de materiales, metales, cerámicas, vidrios, polímeros y compuestos carbonosos, los instrumentos de dilatometría tienen un condensador, conformado por placas las cuales, en función de la expansión o contracción de la muestra, la placa móvil se desplaza, generando una separación entre las placas lo que permite medir ese desplazamiento (Michael, Jervis, Brett, & Shearing, 2021).

El coeficiente de expansión térmica es esencial en la selección de materiales dependiendo de su aplicación, pues un material con alto coeficiente de expansión será seleccionado cuando se necesite que el material no se dilate considerablemente con el incremento de la temperatura y uno con bajo coeficiente de expansión térmica será deseado cuando se necesita una sensibilidad en el cambio del volumen con la temperatura (Chávez, Davis, & Sparks, 2023).

Figura 23

Dispositivo para medir la expansión térmica por dilatometría



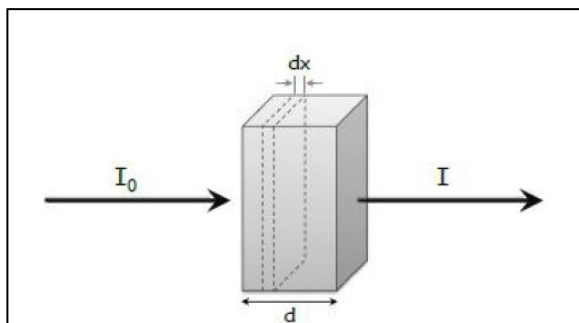
Tomada de (Rojas, Manhabosco, Santos, Melo, & Neto, 2021).

Métodos para determinar propiedades ópticas

Espectroscopia de absorción: De manera general la espectroscopía se establece como una rama de la física que analiza la radiación reflejada, emitida, absorbida y dispersada por el material, en particular la de absorción utiliza equipos denominados espectrofotómetros, por el equipo atraviesan dos haces uno atraviesa la muestra y el otro sirve como referencia, la relación entre estos dos haces permite obtener la absorbancia también conocida como densidad óptica (Merino, 2021).

Figura 24

Proceso de atenuación de la luz cuando atraviesa un material



Tomada de (Merino, 2021).

$$A = -\log \left(\frac{I(\lambda)}{I_o(\lambda)} \right) \quad (30)$$

Donde:

A Absorbancia

$I(\lambda)$ Intensidad que atraviesa la muestra

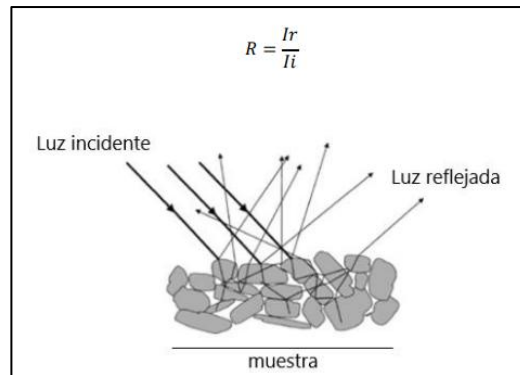
$I_o(\lambda)$ Intensidad de la fuente

Espectroscopía de reflexión: Este método fundamenta su funcionamiento en la reflexión total interna, esto sucede cuando la luz pasa por un medio con índice de refracción más alto e incide en un medio con índice de refracción más bajo, la luz se refleja en su totalidad cuando se alcanza el ángulo crítico, para analizar las propiedades del segundo medio conocido como medio raro, se analiza la interacción de la onda para poder deducir las propiedades ópticas del medio, este proceso ayuda el estudio de películas finas, recubrimientos, permite obtener información detallada sin invadir o alterar las características de la muestra (Mirabella, 2020).

Permite esta técnica determinar la radiación que puede absorber, transmitir y reflejar una muestra, en cuanto a la reflectancia, es la relación entre la luz reflejada y la luz incidente, el valor de la reflectancia tiene como mínimo un valor de cero y máximo 1 y es adimensional (Balbín, 2022).

Figura 25

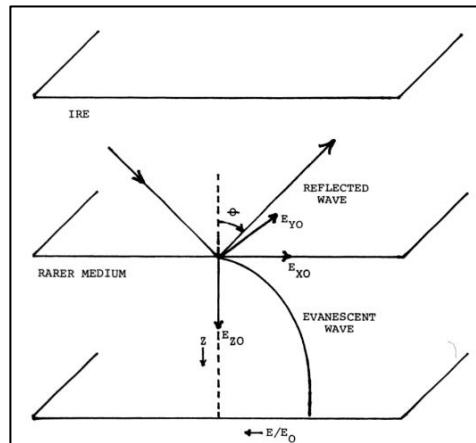
Proceso de atenuación de la luz cuando atraviesa un material



Tomada de (Balbín, 2022)

Figura 26

Proceso de espectroscopia de reflexión



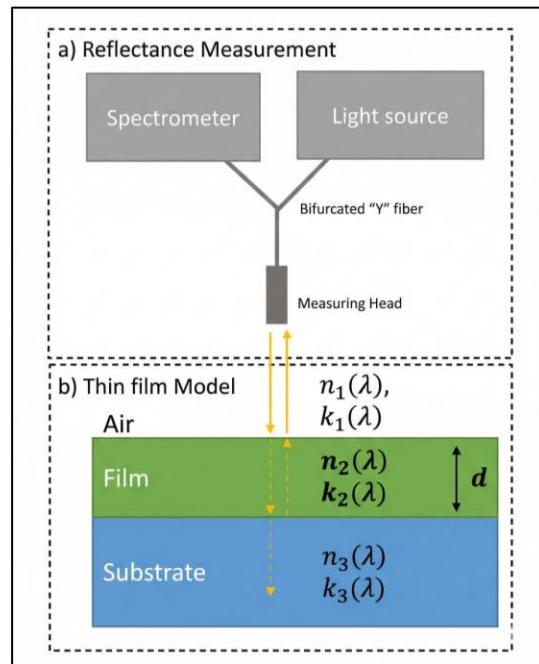
Tomada de (Mirabella, 2020).

Reflectometría: Es un ensayo no destructivo basado en la característica de reflexión de la luz, al interactuar con superficies haciendo posible obtener valores característicos de intensidad del color, espesor y el índice de refracción, el funcionamiento del método involucra emplear una fuente de luz de espectro completo (banda ancha), por medio de fibra óptica para que la muestra sea iluminada, esa muestra está formada por una delgada película del material analizado, la luz que se envía es no

polariza las cuales pueden ser, luz visible, infrarrojo y ultravioleta, la sonda de reflectancia de la fibra óptica, captura y asegura que se refleje la luz con el mismo ángulo que incide para transmitir esa información al espectrómetro (Mistry, 2021).

Figura 27

Medición de reflectancia por reflectometría



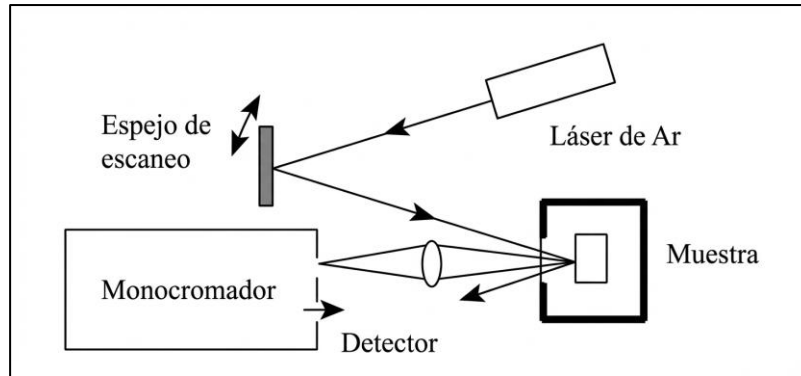
Tomada de (Mistry, 2021).

Fotoluminiscencia: La emisión de luz por luminiscencia se da por la excitación de electrones y no por el calentamiento del material como es usual, esa excitación se genera por medios externos, en la fotoluminiscencia el material de prueba absorbe fotones es decir entrando en un estado de excitación pasando a otro estado no excitado en el cual se emiten fotones (Val de la Fuente, 2023).

Este ensayo no destructivo es uno de los más sensibles, permiten determinar y caracterizar las propiedades intrínsecas y extrínsecas de materiales semiconductores (Cruces, 2023).

Figura 28

Medidor de fotoluminiscencia



Tomada de (Cruces, 2023).

La fotoluminiscencia usa ambientes oscuros con la finalidad de evitar los problemas en la medición que podría generar la exposición al sol, lo que significaría realizarla en instalaciones en las cuales no exista exposición de luz, ese sería una limitante pero actualmente se han desarrollado métodos que captan la luminiscencia generada en la cámara y también toman en cuenta la radiación del ambiente (Redondo, 2022).

Para cada una de las muestras analizadas la forma de excitación es única, de igual manera la emisión, la emisión de las longitudes de onda de una sustancia son mayores que las que se usan para excitarla, para realizar las mediciones se usa un espectrofotómetro, con él se puede tener la caracterización completa es decir conocer los espectros de absorción y emisión (Cervantes, 2020).

Marco legal

En Ecuador, el marco jurídico reciente refuerza la transición hacia energías limpias y economía circular. Destacan la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva (publicada en el Suplemento 4 del Registro Oficial N°488 del 6/07/2021) y su Reglamento General (Decreto Ejecutivo 844, RO-379 del 22/08/2023) (Ministerio del Ambiente, Agua Transición Ecológica, 2020). Estas normas establecen principios y mecanismos para evitar la generación de residuos y valorizar materiales, promoviendo las “9R” (repensar, reducir, reusar, reciclar, etc.) y la inclusión de recicladores en cadenas productivas (Dentons, 2023). El Reglamento en particular incluye incentivos para quien incorpore materiales reciclados en productos o envases, fortaleciendo la gestión de desechos.

En el ámbito energético, la Ley Orgánica para Impulsar la Iniciativa Privada en la Generación de Energías (RO-673, 13/12/2024) fomenta proyectos de generación renovable. Esta ley otorga prioridad y despacho preferente a proyectos que usen tecnologías limpias: hasta 100 MW para iniciativas privadas con almacenamiento interconectado y hasta 10 MW para sistemas aislados de generación distribuida (CorralRosales, 2024). Además, promueve la gestión de residuos con fines energéticos: exige a gobiernos locales implementar tratamiento de basura para generación de energía eléctrica. La Ley también impulsa mecanismos financieros y estabilidad jurídica para proyectos renovables, incluyendo facilidades para sistemas de autoconsumo con excedentes inyectables.

Por su parte, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad emitió la Regulación ARCONEL-005/24 (25/09/2024) para generación distribuida en autoconsumo. Esta norma permite conectar paneles solares, biogás u otras renovables a la red para consumo propio, compensar excedentes con créditos energéticos y contratar a terceros para operar los sistemas (Naranjo, Martínez, & Subía, 2024). Con ello se amplían las posibilidades de instalar colectores solares artesanales en poblaciones rurales y comunidades andinas.

A nivel internacional, Ecuador se adscribe a instrumentos clave de desarrollo sostenible. Ratificó el Acuerdo de Escazú en mayo de 2020, fortaleciendo la

transparencia ambiental y la protección de defensores ecológicos, en línea con la Agenda 2030 (Ministerio del Ambiente, Agua Transición Ecológica, 2020). También firmó el Acuerdo de París (cumbre de 2015) y presentó sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, reafirmando el compromiso con la meta de neutralidad de carbono. En conjunto, el marco jurídico ecuatoriano integra normas recientes (leyes y reglamentos de 2021–2024) dirigidas al ODS 7 (energía limpia), ODS 12 (consumo y producción responsables), ODS 13 (acción climática), así como al 9, 11 y 17, al promover innovación energética, comunidades sostenibles y alianzas estratégicas.

Marco histórico

Evolución del uso de la energía solar en comunidades rurales (2000-2025)

En las últimas dos décadas, el aprovechamiento de la energía solar en comunidades rurales ha pasado de ser experimental o marginal a convertirse en una solución cada vez más implementada en América Latina y otras regiones en desarrollo. A inicios de los 2000, las aplicaciones solares en zonas rurales eran principalmente proyectos piloto o iniciativas aisladas de organizaciones no gubernamentales, dado el alto costo de los equipos fotovoltaicos y la falta de políticas específicas (Fuente & Álvarez, 2004). Sin embargo, desde entonces han convergido varios factores que impulsaron su expansión: la drástica reducción de costos tecnológicos (especialmente de paneles fotovoltaicos), la mayor conciencia sobre sostenibilidad, y el apoyo de programas gubernamentales e internacionales enfocados en la electrificación rural y la energía limpia (Rua-Ramírez, Barrera Siabato, & Gómez Orduz, 2017).

En el contexto latinoamericano, muchos países comenzaron a integrar la energía solar en sus estrategias de desarrollo rural durante la década de 2010, apoyados por metas globales. Un caso emblemático es Perú, que en 2013 lanzó el *Programa Nacional de Electrificación Fotovoltaica Domiciliaria*. Este ambicioso plan buscó instalar sistemas solares domésticos en 500.000 hogares rurales aislados para 2016, con el objetivo de elevar la cobertura eléctrica nacional al 95% de la población. En su primera fase ya se habían instalado 1.600 sistemas solares en comunidades de la sierra, demostrando la viabilidad de llevar electricidad a localidades donde la red convencional no llegaba.

Gracias a este programa, más de dos millones de peruanos de zonas remotas se beneficiarían con acceso básico a electricidad solar, reduciendo brechas históricas de servicios (Eras-Almeida, y otros, 2019). De forma similar, otros países andinos como Bolivia y Ecuador emprendieron proyectos de electrificación rural fotovoltaica en la última década, a menudo con apoyo de financiamiento multilateral. Estas iniciativas responden a la reconocida ventaja de la energía solar como alternativa eficiente para comunidades dispersas en territorios montañosos o amazónicos, donde la extensión de redes es difícil y costosa (Feron, Cordero, & Labbe, 2017).

Paralelamente, la energía solar térmica (usada para calentar agua u otros fines) también ha experimentado una difusión creciente en la región. En países como Brasil, México y Perú, los gobiernos implementaron programas para fomentar los calentadores solares de agua en viviendas y servicios. Por ejemplo, Brasil incluyó la instalación obligatoria de calentadores solares en su programa nacional de vivienda social “Minha Casa, Minha Vida”, logrando hacia 2013 la incorporación de más de 183.000 sistemas solares térmicos para familias de bajos ingresos (Silva & Nemer, 2022). A nivel subnacional, el estado de São Paulo dispuso desde 2007 que al menos 40% del agua caliente de nuevos edificios provenga de energía solar (Gigante & Furtado, 2024). Estas políticas públicas evidencian una evolución significativa desde el año 2000: la energía solar pasó de ser una opción experimental a integrarse en estándares de construcción y planes sociales, reconociéndola como tecnología madura y rentable en el largo plazo. En Perú, aunque el mercado de calentadores solares residenciales era incipiente a inicios de los 2000, creció rápidamente cuando se implementaron metas explícitas como reemplazar 100 mil termas eléctricas por sistemas solares según el plan referencial 2009-2018, duplicándose la capacidad instalada de calentamiento solar entre 2008 y 2014 (Fantinelli, 2006). Este crecimiento refleja no solo esfuerzos gubernamentales, sino también mayor aceptación social de las tecnologías solares conforme demostró su eficacia.

Los organismos internacionales y bancos de desarrollo han jugado un rol facilitador en esta evolución, financiando proyectos demostrativos y masivos. El Banco Interamericano de Desarrollo, por ejemplo, apoyó en 2017 la instalación de micro-redes

solares en comunidades indígenas remotas de La Mosquitia, Honduras (550 kW para abastecer varias aldeas), así como la primera planta solar híbrida con baterías en comunidades rurales de Surinam (Gigante & Furtado, 2024). Estas experiencias muestran que, para finales de la década de 2010, la energía solar se consideraba una solución probada para llevar luz eléctrica y mejorar la calidad de vida en poblaciones aisladas de América Latina. Incluso en lugares de clima hostil o difícil acceso selvas, alturas andinas, islas oceánicas se implementaron con éxito sistemas solares adaptados. Ya para 2020-2025, la tendencia se consolida: la capacidad instalada solar fotovoltaica en Latinoamérica creció más de 40% solo en 2022, y una porción de esa nueva capacidad corresponde a proyectos comunitarios y rurales. En síntesis, desde el año 2000 hasta la actualidad ha habido una clara transición: de pequeños proyectos piloto, se pasó a programas nacionales integrales de energía solar y a miles de comunidades rurales beneficiadas con electricidad y agua caliente solares, en concordancia con la agenda internacional de desarrollo sostenible.

Tecnologías sostenibles con materiales reciclados: experiencias relevantes

Dentro de esta evolución histórica, un aspecto innovador y pertinente a la tesis es el uso de materiales reciclados para construir tecnologías solares sostenibles. La idea de aprovechar residuos (plásticos, metales reutilizados, etc.) en la manufactura de dispositivos solares ha emergido como una solución ingeniosa para reducir costos, disminuir desechos y adaptar la tecnología al contexto local. Un hito temprano y notable ocurrió en Brasil en 2002, cuando el mecánico jubilado José Alcino Alano desarrolló un calentador solar de agua casero reutilizando 100 botellas de plástico (PET) y 100 cajas de cartón de leche. Este invento, concebido para proveer agua caliente de forma económica, ganó un premio nacional de ecología y se difundió ampliamente a través de medios de comunicación. Con apoyo de la Secretaría de Medio Ambiente brasileña, el diseño se replicó en comunidades del sur de Brasil: para 2008 ya se habían instalado calentadores solares reciclados en las casas de 7.000 personas en Santa Catarina, mediante cooperativas locales. El gobierno del estado de Paraná también impulsó su adopción; hacia 2013 se reportaba la instalación de 6.000 calentadores solares reciclados adicionales tras programas de capacitación técnica. Esta experiencia brasileña demostró

que tecnología apropiada de bajo costo puede escalar exitosamente, logrando doble impacto en desarrollo social y manejo de residuos. Los calentadores contruidos con botellas PET y tetrabriks no solo recortaron hasta un 30% el consumo eléctrico en calentamiento de agua doméstico, sino que a la vez dieron uso útil a toneladas de desechos, creando conciencia de reciclaje (Ríspoli & Marionatoni, 2008). La invención de Alano trascendió fronteras: manuales de construcción de este tipo de colectores solares reciclados circularon por países vecinos, inspirando proyectos similares en Argentina, Chile y otros. Se trata, en efecto, de un precursor directo del prototipo investigado en esta tesis, que busca llevar ese enfoque de economía circular a comunidades andinas ecuatorianas.

En otras partes de América Latina también surgieron iniciativas comunitarias para fabricar tecnologías solares con materiales reutilizados. Por ejemplo, se han desarrollado cocinas solares artesanales usando elementos reciclados (como reflectores de papel aluminio, cajas aisladas con materiales locales, etc.) para la cocción de alimentos en zonas rurales (Luna Jaime, Galindo Luna, Ramos Sierra, Reséndiz Úrzula, & Rivera Padilla, 2024). En regiones altoandinas de Bolivia y Perú, desde mediados de los 2000 la ONG franco-andina Inti Illimani/Inti Illimani Francia ha difundido cocinas solares portátiles, muchas de las cuales incorporan insumos reciclados y de bajo costo (madera reusada, espejos de metal pulido, recipientes adaptados). Gracias a estas iniciativas, cerca de 9.500 familias bolivianas adoptaron cocinas solares desde el año 2000 hasta 2023, beneficiando directamente a más de 42.000 personas. Estas cocinas permiten preparar alimentos usando únicamente la radiación solar, reduciendo drásticamente el consumo de leña o gas y eliminando el humo en interiores, con el consecuente beneficio sanitario y ambiental. Los proyectos de Inti Illimani capacitaron a comunidades campesinas en la construcción y uso de estos dispositivos, subsidiando alrededor del 80% del costo gracias a cooperación internacional. Esta transferencia tecnológica social ha sido particularmente relevante en zonas del altiplano donde las bajas temperaturas y la falta de combustible hacen difícil la cocción tradicional la energía solar se convirtió en una alternativa gratuita, segura y sostenible para miles de hogares rurales. Iniciativas semejantes de cocinas y hornos solares se documentaron en comunidades de Perú, Chile y México, muchas veces aprovechando materiales locales y reciclados para abaratar su

fabricación (por ejemplo, usando cartón, vidrio usado y chapas metálicas como concentradores solares) (Luna Jaime, Galindo Luna, Ramos Sierra, Reséndiz Úrzula, & Rivera Padilla, 2024). Estas experiencias históricas subrayan que la innovación con materiales reutilizados no es ajena al campo de la energía solar rural, sino que ha sido un factor clave para adaptar la tecnología a contextos de escasos recursos.

En el ámbito internacional reciente, también se reconoce la importancia de vincular energía limpia con economía circular. Documentos de estrategias energéticas contemporáneas (por ejemplo, reportes de la Agencia Internacional de Energía Renovable, IRENA) han enfatizado la necesidad de diseñar tecnologías renovables con criterios de reciclabilidad y bajo impacto para maximizar su sustentabilidad. La Unión Europea y otros actores globales promueven actualmente estándares de *eco-diseño* que incluyen la reutilización de componentes en sistemas solares y la gestión de residuos electrónicos. Aunque estas directrices son más recientes, las comunidades rurales latinoamericanas ya venían practicando esa filosofía por necesidad: reutilizar lo disponible para solventar sus necesidades energéticas (Mejía Ochoa, Rosas Leyva, & Hernández Salinas, 2024). Un caso ilustrativo fue la construcción de pequeñas microturbinas eólicas artesanales en la Puna argentina durante la década de 2000 reutilizando partes de bicicletas y alternadores de coches, complementando sistemas solares fotovoltaicos en aldeas aisladas (un ejemplo de cómo la inventiva local suplió la falta de recursos industriales). Del mismo modo, en los Andes ecuatorianos se han visto pilotos donde se emplean residuos agrícolas (paja, adobe) como aislantes en colectores solares térmicos para climatización de invernaderos comunitarios, combinando saber tradicional y ciencia moderna (Almeida, Almeida, Rodríguez, & Kowii, 2023).

En síntesis, el marco histórico desde el año 2000 evidencia una creciente adopción de la energía solar en comunidades rurales de América Latina, con un énfasis cada vez mayor en soluciones tecnológicas sostenibles y accesibles. La trayectoria recorrida incluye desde la electrificación fotovoltaica masiva de hogares dispersos hasta la introducción de calentadores solares y cocinas solares hechos con materiales reciclados por parte de innovadores locales y organizaciones. Estas experiencias proporcionan valiosas lecciones aprendidas: (a) la apropiación comunitaria de la tecnología es

fundamental cuando la gente participa en la construcción con materiales locales, aumenta la aceptación y mantenibilidad, (b) la articulación con políticas públicas puede escalar significativamente el impacto (como se vio con los planes nacionales de electrificación solar y vivienda sostenible), y (c) la convergencia con los objetivos globales de sostenibilidad ha aportado recursos y reconocimiento a estas iniciativas. Para una tesis doctoral en innovación y desarrollo tecnológico, entender este devenir histórico asegura que el prototipo propuesto se apoye en conocimientos previos y contribuya a una continuidad evolutiva: la de aprovechar la abundante energía solar de los páramos andinos mediante un diseño innovador, de bajo costo y amigable con el entorno, tal como lo viene reclamando la agenda mundial de desarrollo sostenible en el siglo XXI.

CUARTO CAPÍTULO. PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

En este capítulo, se establece el método racional de análisis o los métodos, la profundidad de estudio en función de la taxonomía de Bloom, se establece el diseño metodológico para llevar a cabo las simulaciones y qué criterios se establecen para las mismas, las variables que se van a medir para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

Bases epistemológicas y paradigmas

Este trabajo de investigación no solo se limita a la observación y teorización (Inducción), tampoco se limita a aplicar teorías existentes (deducción), lo que se pretende es buscar nuevas soluciones por ello como menciona (Pereira Reyes, 2022), el método de abducción tiene la finalidad de demostrar por medio de experimentos y resultados, nuevas soluciones construidas a partir de las observaciones, esto se traduce en la innovación, lo cual posibilita salirse de lo tradicional.

Precisamente la tesis que involucra el uso de materiales reciclados para crear un prototipo está yendo en contra de lo tradicional y apuntando a mejorar la calidad de vida, no solamente enfocado en la eficiencia energética o el ahorro en el consumo, pero también mencionar que esta investigación debe adaptarse tomando en cuenta cada uno de los objetivos propuestos, es así como podríamos mencionar los siguientes métodos que permiten llegar a la abducción.

Investigación: Este método involucra a todas las partes interesadas en este caso la comunidad, teniendo en cuenta la planificación, la acción, observación y un proceso de reflexión el cual permite ir mejorando continuamente el prototipo.

Estudio de caso: Permite recabar información sobre el funcionamiento del prototipo y la aceptabilidad de este en la comunidad.

Encuestas y entrevistas: Además de obtener datos relevantes para una retroalimentación directa, saber las percepciones de los usuarios y saber el grado de satisfacción y de impacto.

Método ingenieril (simulación y experimentación): Buscar y comparar las propiedades térmicas y mecánicas de los materiales reciclados, con simulación en software se puede hacer el análisis de transferencia de calor de las posibles combinaciones entre materiales para obtener el prototipo y de esa forma elegir la mejor configuración, con la mejor configuración obtenida realizar la construcción que ayudará a verificar experimentalmente la temperatura a la cual el agua será calentada

Análisis de ciclo de vida: Es necesario tomar en cuenta el impacto ambiental, en cada uno de los pasos para obtener el producto, incluyendo la capacidad de reciclaje de sus componentes luego de su periodo de funcionamiento.

Tomando en cuenta lo mencionado, al aplicar el método abducción tendría un enfoque holístico, no solo caracterizado en la producción del colector, desde la teoría y práctica, es más bien obtener un producto sostenible, de bajo costo y lo más relevante nuevo beneficioso para la comunidad.

La presente tesis doctoral tiene como fin el desarrollo de un prototipo en el cual se englobe la identificación, diseño, implementación y evaluación del prototipo para calentar agua con energía solar con un colector elaborado con materiales reciclados, el nivel de profundidad es netamente “crear”, para llegar al nivel más alto de la taxonomía de Bloom, es necesario que el procedimiento se centre en el “como”, no es suficiente reconocer el o los materiales reciclados con las características térmicas y mecánicas que garanticen eficiencia al momento de calentar el agua, más bien la idea es en construir un proceso estructurado desde el primer paso hasta la ejecución y evaluación.

En este tema innovador el cual se encuentra en un terreno poco explorado, necesita entender los resultados, pero también saber cómo llegar a obtenerlos, para ello el enfoque procedimental permite revisar cada paso y revisar y ajustar antes de terminar, esto está en consonancia con la taxonomía de Bloom en el nivel crear donde la iteración y el refinamiento son la esencia del nivel.

Al desarrollar un proceso se permite que posteriores investigaciones lo implementen lo adapten y lo mejoren, incluso en diferentes contextos y con recursos diferentes,

haciendo posible la transferibilidad del conocimiento, es evidente que esta investigación es procedimental, pero también involucra otros niveles de la taxonomía de Bloom, exploratorios, descriptivos y experimentales, exploratorios refiriéndose a la identificación de los materiales reciclados potenciales, en la parte descriptiva caracterizando las propiedades térmicas de los materiales reciclados y en lo referente a lo experimental en la simulación del prototipo con sus diferentes configuraciones y también la construcción y la medidas de la temperatura in situ.

Diseño metodológico

- Identificar entre los materiales reciclados, cuales tiene las mejores propiedades térmicas y mecánicas para generar energía térmica en el colector.

Método Específico: Revisión documental

Es necesario revisar de manera exhaustiva la literatura e investigaciones anteriores, en la que se puedan encontrar aproximaciones en la caracterización de las propiedades térmica y mecánicas de los materiales reciclados.

Esa información encontrada se recopilará en forma de datos numéricos para el procesamiento se tomará en cuenta métodos cuantitativos, como método general para el cumplimiento del objetivo.

- Establecer el prototipo de captación solar para calentar el agua, con materiales reciclados y simular su comportamiento por CFD (Dinámica de fluidos computacional).

Método Específico: Ingeniería de Diseño

Luego de realizada la revisión documental para determinar las características térmicas y mecánicas de los materiales reciclados es necesario aplicar ingeniería de diseño en la elaboración del prototipo.

Para el diseño se apoya es necesario apoyarse de un método iterativo basado en dinámica de fluidos computacional, un software de simulación de transferencia de calor,

tomando en cuenta las posibles combinaciones entre los materiales, se elegirá la mejor de las configuraciones, para posteriormente construirlo.

- Implementar el prototipo para probar la temperatura del agua máxima que alcanza bajo diversas circunstancias aplicativas en la comunidad de los páramos.

Método Específico: Experimental

Ya diseñado el prototipo, se procederá a su puesta en marcha en un lugar seguro y posteriormente en una vivienda de la comunidad de los páramos.

Al implementar el prototipo se medirá la temperatura, lo que involucra una nueva recogida de datos, de la temperatura de inicial y final del circuito primario y también de la temperatura ambiental, para esto se utilizarán métodos cuantitativos, los cuales permitirán determinar el rendimiento.

- Evaluar el grado de percepción en desarrollo de la prueba del prototipo realizado a los habitantes de los páramos andinos.

Método Específico: Cualitativo

Para el seguimiento adecuado, se puede realizar entrevistas, encuestas o focus grupos, para saber la percepción de los habitantes de los páramos andinos.

El método general asociado a este objetivo es el método mixto pues se podría abordar las opiniones de los habitantes con un estudio cualitativo y el ahorro de costos de energía y frecuencia de uso con datos cuantitativos.

Enfoque de recolección de datos

Revisión Documental

Realizar una revisión de investigaciones y de la literatura para caracterizar los materiales reciclados con sus propiedades térmicas y mecánicas.

Procedimental (Prueba-Error)

Simular el prototipo con las diferentes configuraciones de materiales, modelando, realizando pruebas y ajustes.

Cuantitativo

Recolectar datos numéricos de tempura del agua

Cualitativo

Entrevistar a los habitantes de los páramos andinos.

Mixto

Combinar el método cualitativo y cuantitativo para obtener datos como el ahorro de la energía y la frecuencia de uso.

Procedimientos de instrumentación

Revisión documental

La revisión documental se realizó en el marco teórico ahí de determinaron las propiedades térmicas y mecánicas de los materiales reciclados más comunes para usos en colectores solares térmicos, pero además de eso es necesario conocer los materiales que se reciclan en Ecuador, específicamente en la ciudad de Ambato que es la ciudad más cercana a la comunidad que se en cuenta en los páramos andinos.

Tabla 7 Residuos comerciales domiciliarios en la ciudad de Ambato.

Cantón Ambato	Cantidades	
	kg	%
Residuos orgánicos	14.88	36.07
Textiles	4.64	11.23
Pañales, papel higiénico	4.26	10.31
Reciclaje de Vidrio	1.14	2.75
Madera menor a 1 cm	0	0
Papel	2.52	6.09
Fundas plásticas	1.95	4.73

Otros	4.87	11.79
Poliéster	0.19	0.45
Compuestos	0.82	1.98
Plásticos de alta densidad	0.7	1.69
Medicamentos, pilas y baterías	0.15	0.35
Metales de tipo ferrosos	0.21	0.49
Polipropileno	0.17	0.43
Tierra, losa y cerámicos	1.005	2.44
PET en botellas	0.39	0.94
Otros tipos de metales	0.018	0.04
Componentes electrónicos	0.19	0.45
Cartón	1.39	3.35
Orgánicos de jardín	1.83	4.44
PESO TOTAL (Kg)	41.26	

Fuente: (Cisneros, 2018)

En cuanto a la valorización de los residuos en Ambato se tiene lo siguiente.

Tabla 8 Lugares de donde se recolectan residuos en Ambato

Descripción	Origen
Orgánicos	Casas y comercios
Textiles	Casas y comercios
Plásticos	Casas y comercios
Papel y Cartón	Casas y comercios
Inertes (losa, cerámica, tierra)	Casas y comercios
Medicamentos	Casas y comercios
Pilas y baterías	Casas y comercios
Metálicos ferrosos y chatarra	Casas y comercios
Vidrio	Casas y comercios
Electrónicos	Casas y comercios
Madera	Casas y comercios

Fuente: Cisneros, 2018

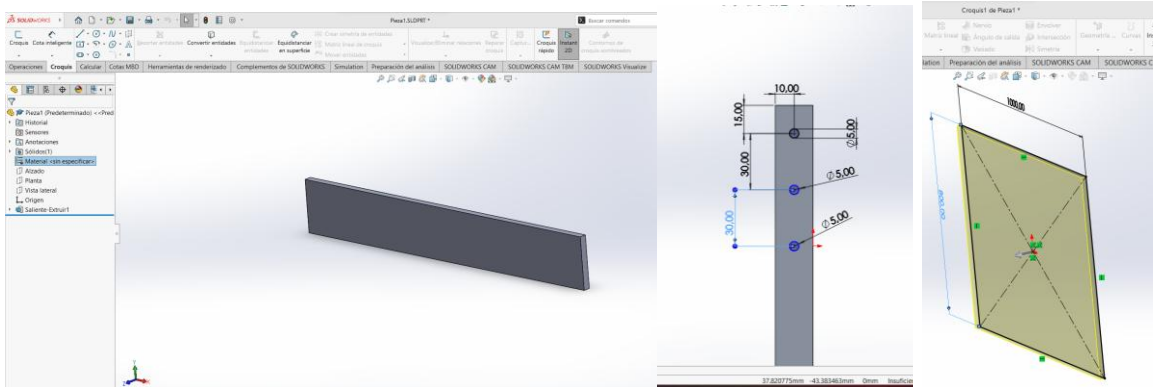
Simulaciones

Simulación 1: Colector solar plano flujo directo en SolidWorks

Se crea cuatro perfiles dos de dimensiones 100x11x2 (cm) y dos de dimensiones 76x11x2 (cm).

Figura 29

Dimensiones de los perfiles del colector solar

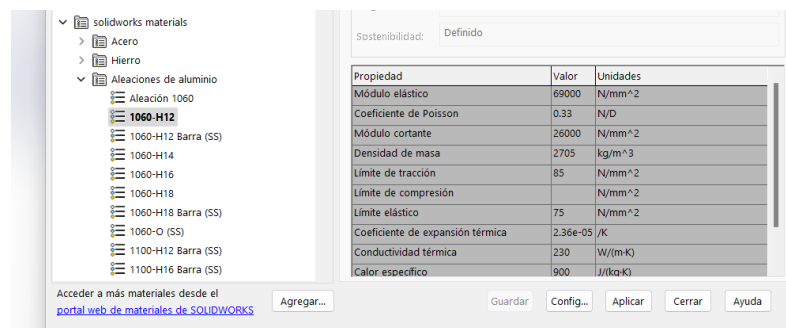


Elaboración propia SOLIDWORKS

Caracterización de los 4 perfiles, con las propiedades del aluminio, con características similares a los de los del aluminio reciclado.

Figura 30

Dimensiones de los perfiles del colector solar



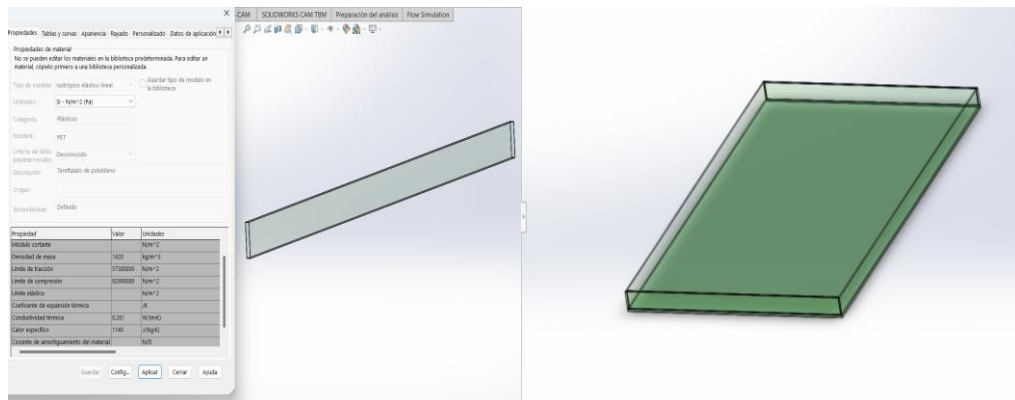
Elaboración propia SOLIDWORKS

Aislantes térmicos PET

Los aislantes PET disminuyen la transferencia de calor entre los perfiles laterales de la estructura de aluminio.

Figura 31

Dimensiones de los aislantes PET



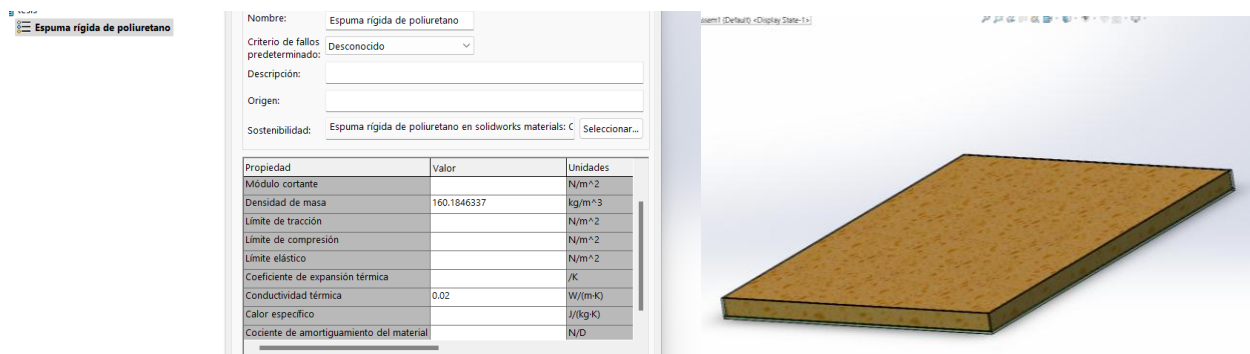
Elaboración propia SOLIDWORKS

Espuma de poliuretano

Esta espuma disminuye la pérdida de calor desde la placa absorbidora a la parte inferior de la estructura.

Figura 32

Definición de las características térmicas y mecánicas de la espuma de poliuretano aislante.



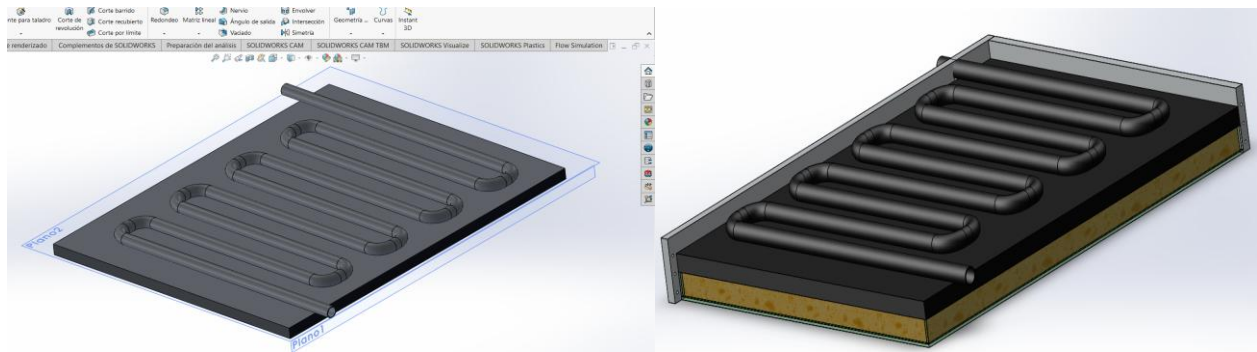
Elaboración propia SOLIDWORKS

Placa absorbedora

La placa absorbedora está unida a la tubería, la placa de aluminio de alta conductividad térmica transfiere el calor hacia la tubería que también es de aluminio reciclado.

Figura 33

Características de la placa absorbedora



Elaboración propia SOLIDWORKS

Cubierta transparente de vidrio reciclado

Figura 44

Cubierta de vidrio reciclado utilizada en ventanas de viviendas



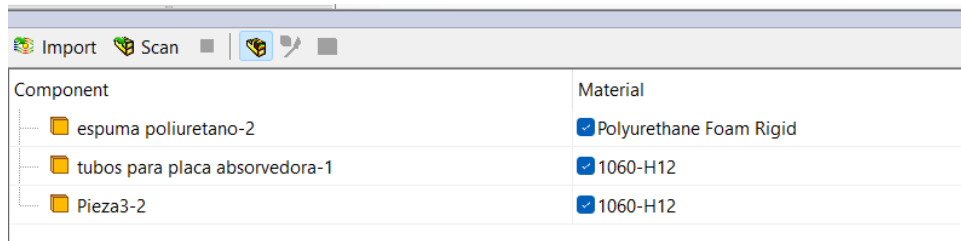
Elaboración propia SOLIDWORKS

Proceso de simulación de transferencia de calor SolidWorks Flowsimulation

Definición de materiales en Flowsimulation, es necesario recordar al programa de que material está constituido cada pieza que conforma el colector solar.

Figura 45

Importar características de los materiales



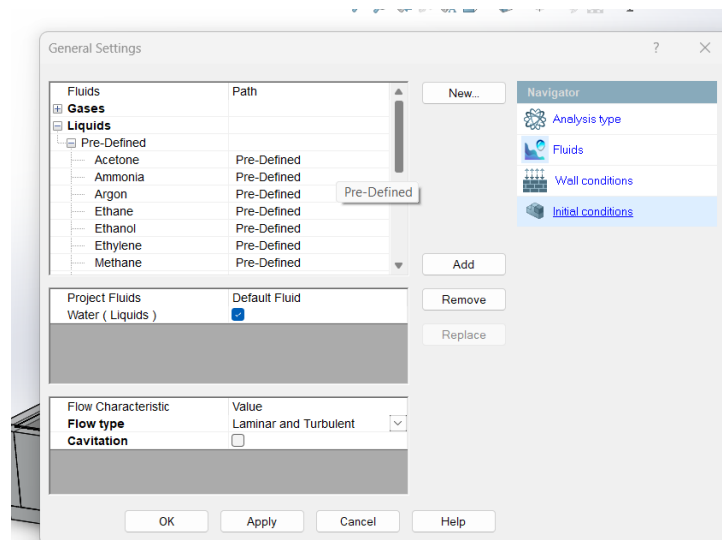
Component	Material
espuma poliuretano-2	☒ Polyurethane Foam Rigid
tubos para placa absorbadora-1	☒ 1060-H12
Pieza3-2	☒ 1060-H12

Elaboración propia SOLIDWORKS

Selección del fluido caloportador, en este caso trabajar con agua

Figura 46

Fluido caloportador

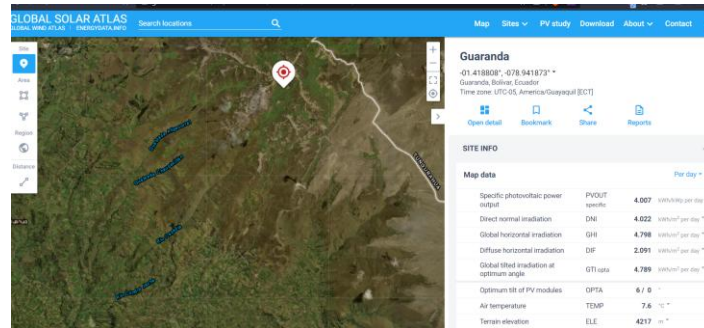


Elaboración propia SOLIDWORKS

Definición de condiciones iniciales y radiación solar

Figura 47

Radiación solar en los páramos andinos



Fuente: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=-1.459856,-78.963051,13&s=-1.418808,-78.941873&m=site>

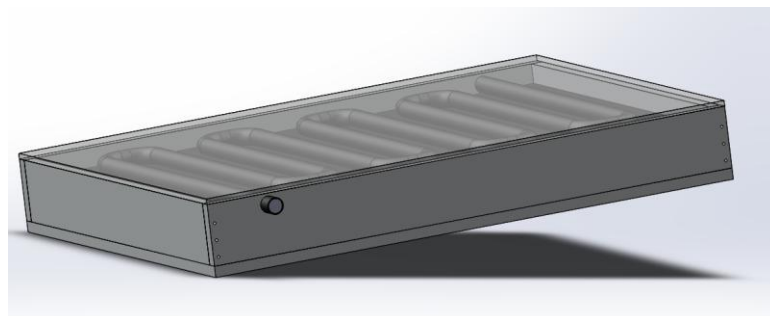
La energía de la radiación en la comunidad de los páramos andinos estudiado este alrededor de 4798 Wh/m²/día, tomando en cuenta un promedio de 10 horas de sol en ese lugar tendríamos una intensidad de potencia de 479.8 W/m².

La temperatura del ambiente es del 7.6 °C y la temperatura de agua de la red

Es importante tomar en cuenta que el colector debe estar inclinado un cierto ángulo para que la radiación solar quede lo más perpendicular posible, para el Ecuador es aconsejable ángulos entre 10° y 15°

Figura 48

Inclinación del colector solar 10°



Elaboración propia SOLIDWORKS

Es necesario descomponer la intensidad de radiación solar en el “x” y en el “y” para ingresarlo en el programa de simulación, considerando la inclinación del panel elegido de 10° .

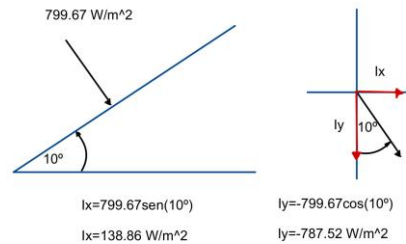
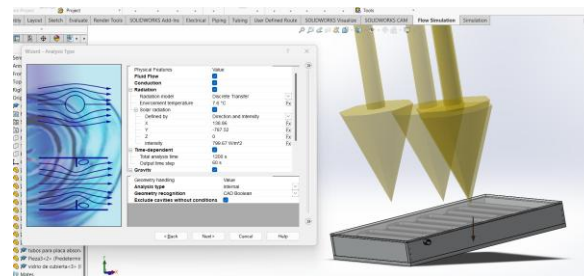


Figura 49

Ingreso de condiciones iniciales, de radiación, temperatura y tipo de estudio

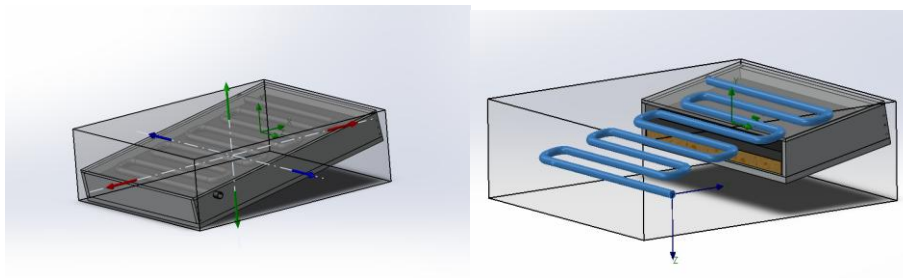


Elaboración propia SOLIDWORKS

Volumen de control, es donde la computadora aplicará sus ecuaciones matemáticas, también es necesario definir el subdominio del fluido lugar por el cual transitará el fluido.

Figura 50

Ingreso de condiciones iniciales, de radiación, temperatura y tipo de estudio



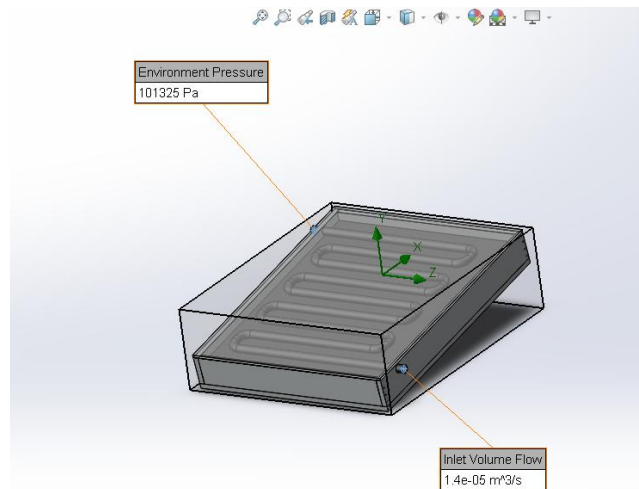
Elaboración propia SOLIDWORKS

Definir condiciones de frontera

Las condiciones de entrada del agua, en promedio una vivienda rural el caudal de entrada es de $0.000014 \text{ m}^3/\text{s}$ y la temperatura a la que está el agua en la red es de 7.6°C

Figura 51

Condiciones de ingreso y salida del agua



Elaboración propia SOLIDWORKS

Las variables para medir son la temperatura máxima, mínima y promedio en el fluido y en los materiales sólidos, en todos los puntos de la tubería, el tipo de estudio es transitorio (dependiente del tiempo) porque se quiere ver como se da la variación de temperatura con el tiempo.

Figura 52

Variables por medir en la simulación 1



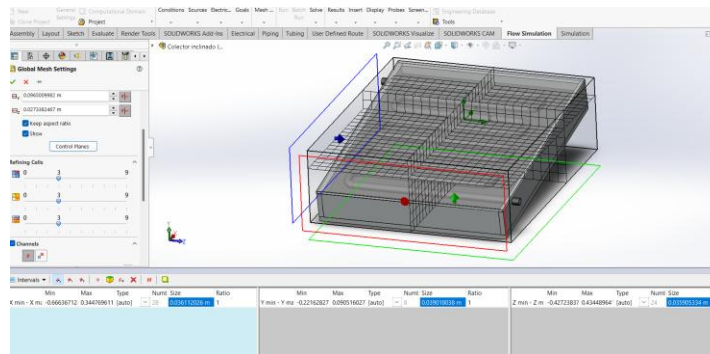
Elaboración propia SOLIDWORKS

Tipo de mallado

La malla debe estar lo más orientado al flujo posible, en el mallado el programa simplifica las ecuaciones diferenciales a estudios más sencillo utilizando la técnica de elementos finitos.

Figura 53

Selección de tipo de mallado

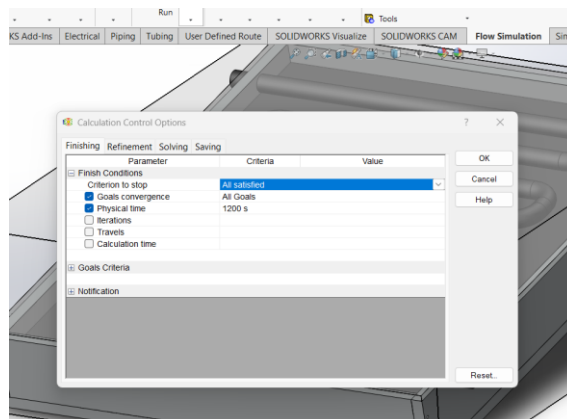


Elaboración propia SOLIDWORKS

Garantizar la convergencia, en otras palabras, buscar que la solución se estabilice en el tiempo, cuando los resultados de las interacciones se aproximen a un valor común.

Figura 54

Parámetros de convergencia de la malla



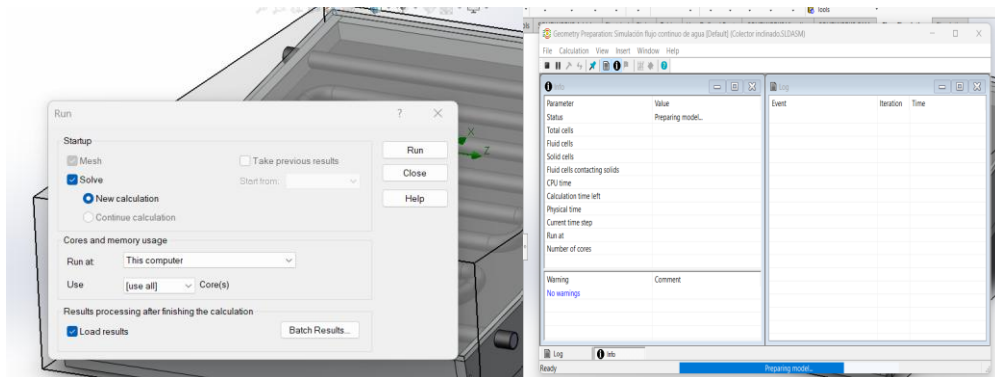
Elaboración propia SOLIDWORKS

Inicio de la simulación

Monitorear el proceso durante la simulación es importante para verificar si ya existe convergencia en la solución

Figura 55

Inicio de la simulación

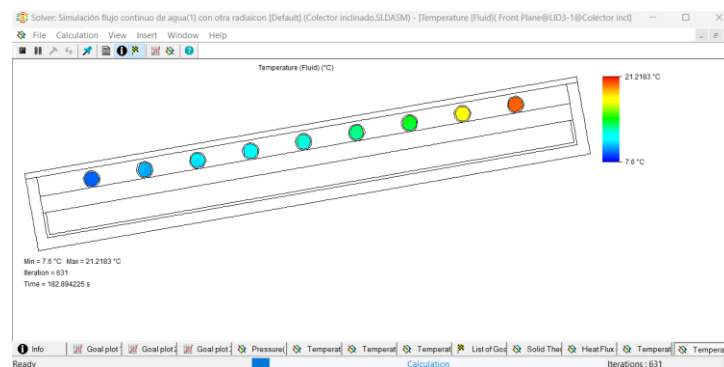


Elaboración propia SOLIDWORKS

El estudio transitorio de las propiedades térmicas permite conocer el flujo de calor y como cambia la temperatura con el tiempo en cada punto de la tubería, la distribución de las temperaturas permite lograr el efecto termosifón, el cual facilita que el fluido se mueva a lo largo de la tubería del circuito primario.

Figura 56

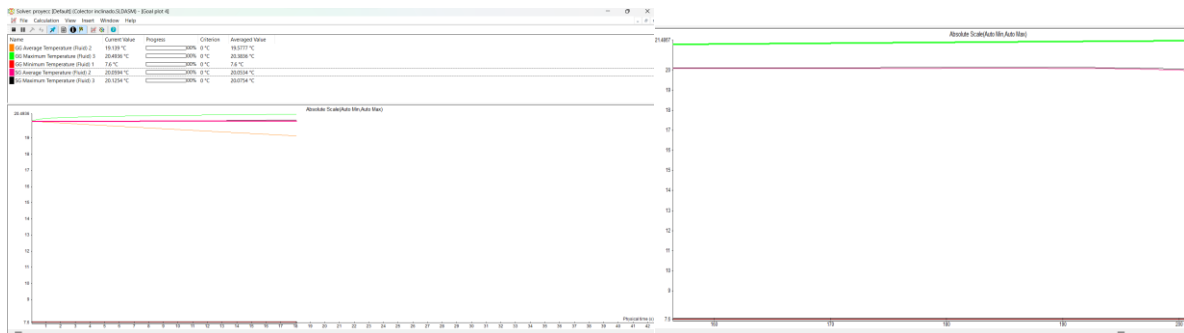
Distribución de temperaturas en la tubería del colector a los 182 segundos



Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 57

Convergencia de la solución de temperatura del fluido



Elaboración propia Elaboración propia SOLIDWORKS

Para facilitar los cálculos computacionales primero se realizó la simulación de las temperaturas alcanzadas por el fluido y luego la simulación de transferencia de calor con la finalidad de conocer cómo se comportan los elementos estructurales de colector en la contribución al calentamiento del fluido.

Figura 58

Seguimiento del proceso de transferencia de calor, inicio, durante y convergencia de la solución

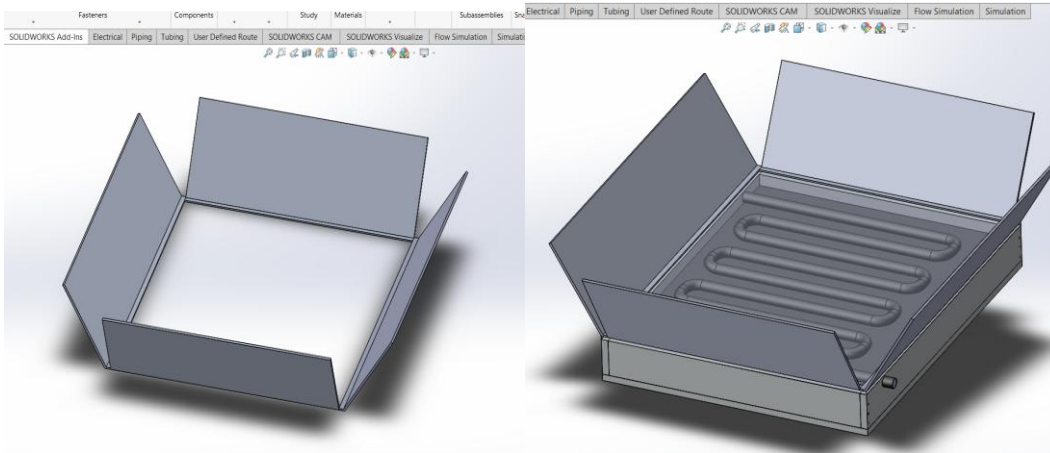


Elaboración propia

Simulación 2: Colector solar plano flujo directo con reflectores en SolidWorks

Figura 59

Modificación a la geometría del colector solar con paneles reflectores

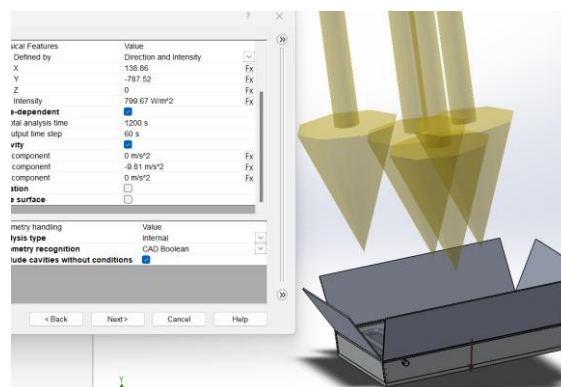


Elaboración propia SOLIDWORKS

De manera similar a la simulación anterior se siguen los mismos pasos, mismas condiciones ingreso y salida, radiación, temperatura del agua y del ambiente y tipo de estudio, esta modificación busca que de manera similar a una cocina solar los reflectores de papel aluminio concentren el calor hacia los tubos mejorando el aprovechamiento del calor hacia el fluido caloportador.

Figura 60

Ingreso de radiación solar y condiciones para la simulación 2

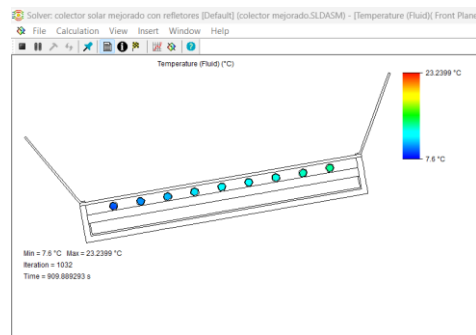


Elaboración propia SOLIDWORKS

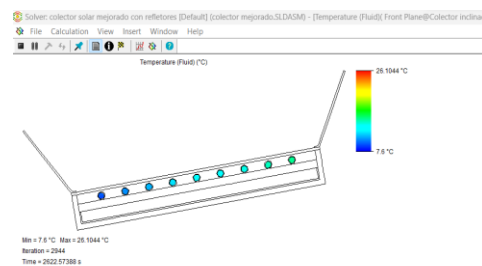
Con el avance de tiempo se puede observar que para un mismo tiempo la temperatura es mayor con respecto a la primera simulación.

Figura 61

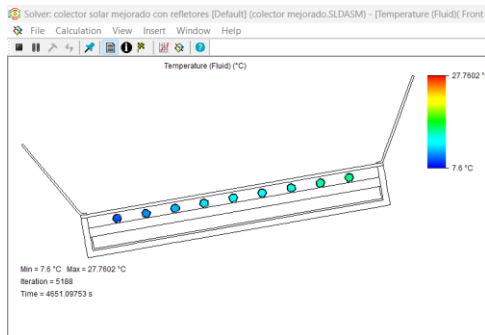
Variación de la temperatura del agua con el tiempo en la simulación 2



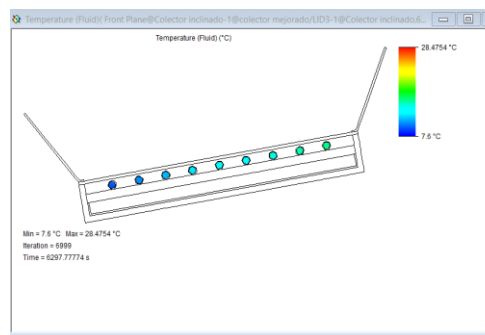
(a) Temperatura máxima de agua los 909 segundos



(b) Temperatura máxima de agua los 2622 segundos



(c) Temperatura máxima de agua los 4651 segundos



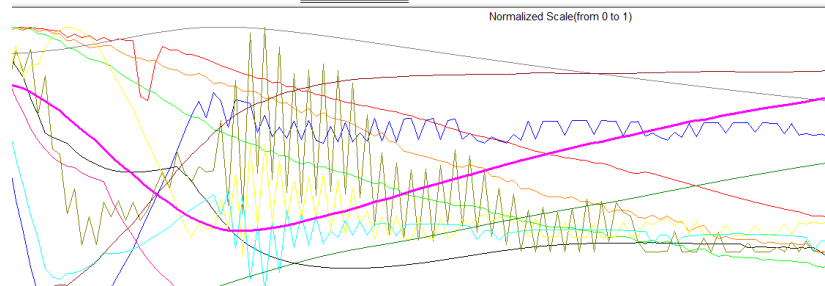
(d) Temperatura máxima de agua los 6297 segundos

Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 62

Simulación de la transferencia de calor

mum Heat Flux (Z) 16	58013.3 W/m ²	Achieved (IT = 141)	1385.6 W/m ²	57619.6 W/m ²
mum Heat Flux 7	24984.8 W/m ²	Achieved (IT = 616)	578.146 W/m ²	24825.1 W/m ²
mum Heat Transfer Coefficient 4	1136.88 W/m ² /K	Achieved (IT = 183)	57.0226 W/m ² /K	1136.91 W/m ² /K



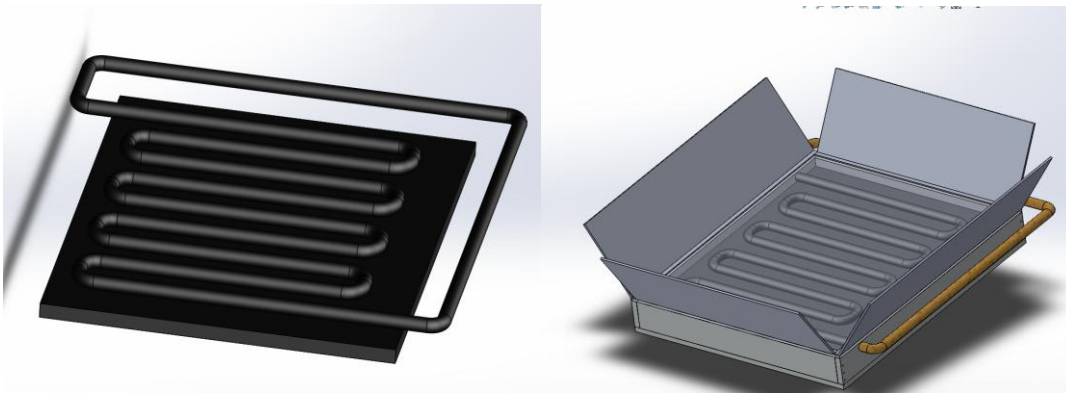
Elaboración propia

Simulación 3: Colector solar plano con efecto termosifón en SolidWorks

En colector con efecto termosifón en el circuito primaria la cantidad de agua permanece constante, el movimiento del fluido se da por el aumento de la temperatura, la energía térmica absorbida por el fluido posteriormente será entregada al agua de suministro que se utilizará para uso sanitario, estos colectores termo sifón en el circuito primario circula una cantidad de agua entre 2 y 6 litros, por lo general la mayoría de los colectores comerciales con este sistema calientan el agua del circuito primario a una temperatura de 60 °C, la suficiente para calentar el agua de un tanque de 100 a 150 litros(demanda promedio de agua caliente de una familia) a una temperatura entre 35 °C y 40°C, el tiempo que logra alcanzar dichas temperaturas un colector comercial esta entre 4 a 6 horas, el colector que se va a simular tiene en su interior una cantidad de agua de 4.5 litros, por esto es necesario ver hasta que temperatura llega el agua del circuito primario.

Figura 63

Modificación placa absorbedora



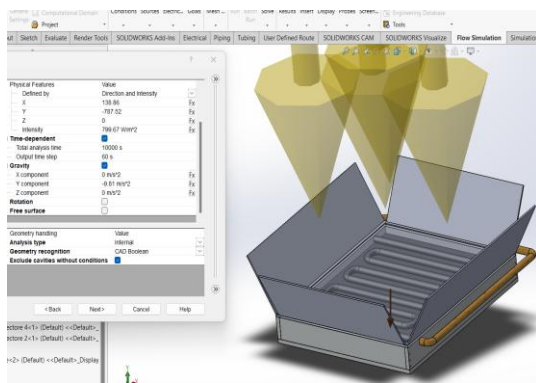
Elaboración propia SOLIDWORKS

La parte expuesta al ambiente de la tubería se encuentra asilada para evitar la pérdida de calor, es importante disminuir esta pérdida, para que llegue el agua a la temperatura más alta posible al tanque de almacenamiento de agua, al momento de iniciar la transferencia de calor.

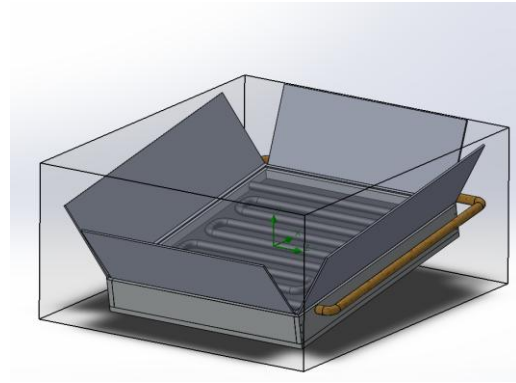
En la siguiente figura se muestra la configuración de proceso de simulación del colector con efecto termosifón, la diferencia sustancial en comparación con las simulaciones anteriores es que no existen condiciones de entrada ni de salida para el fluido, al tratarse de un sistema cerrado.

Figura 64

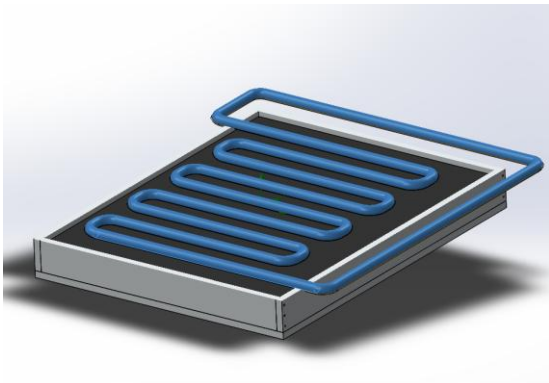
Configuración para el inicio de la tercera simulación, condiciones iniciales, dominio computacional, subdominio del fluido y mallado



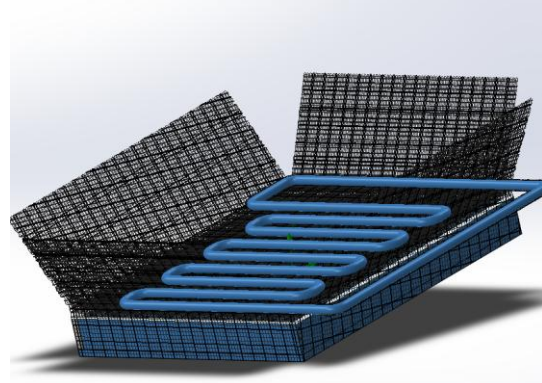
(a) Condiciones iniciales radiación, tipo de estudio, radiación, temperatura del agua, del ambiente



(b) Dominio computacional



(c) Subdominio del fluido

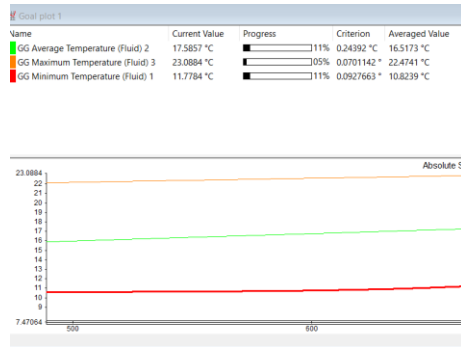


(d) Mallado

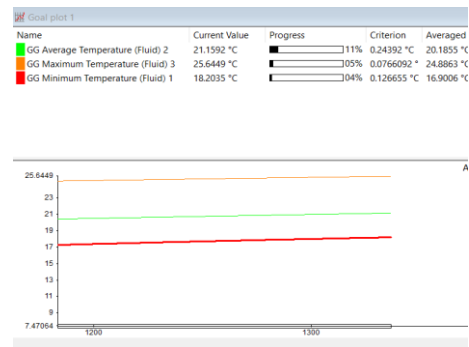
Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 65

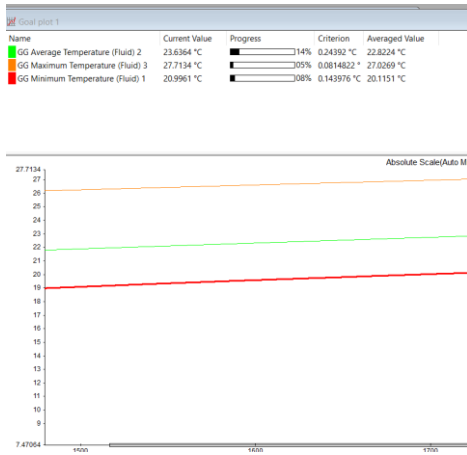
Monitoreo de la variación de la temperatura con el tiempo, en la simulación 3



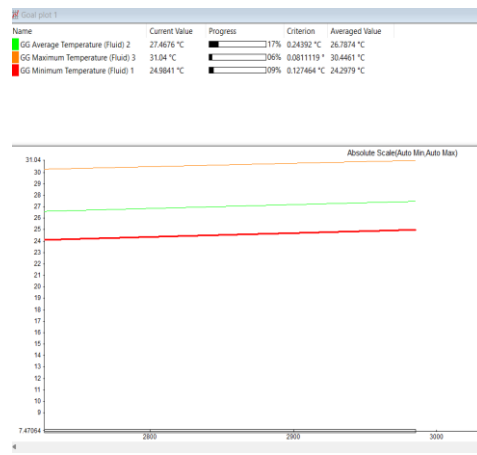
(a) La temperatura promedio del fluido transcurrido 600 s es 17 °C



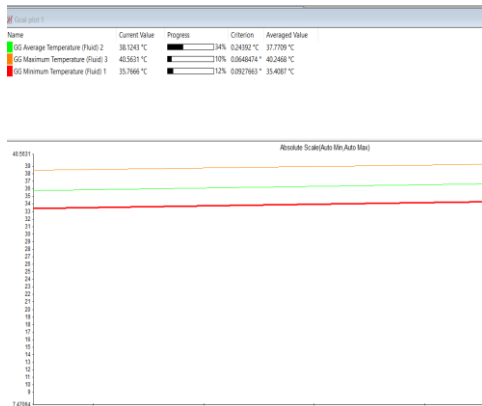
(b) La temperatura promedio del fluido transcurrido 1300 s es 21 °C



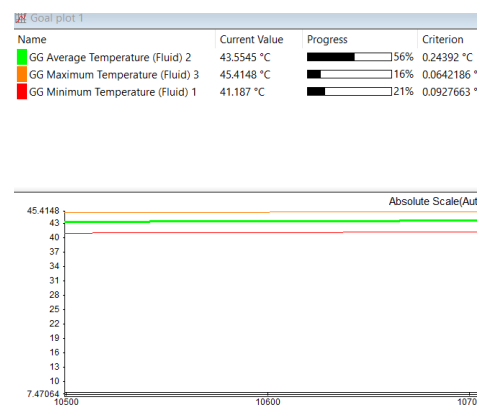
(c) La temperatura promedio del fluido transcurrido 1700 s es 23 °C



(d) La temperatura promedio del fluido transcurrido 3000 s es 27 °C



(e) La temperatura promedio del fluido transcurrido 800 s es 38 °C



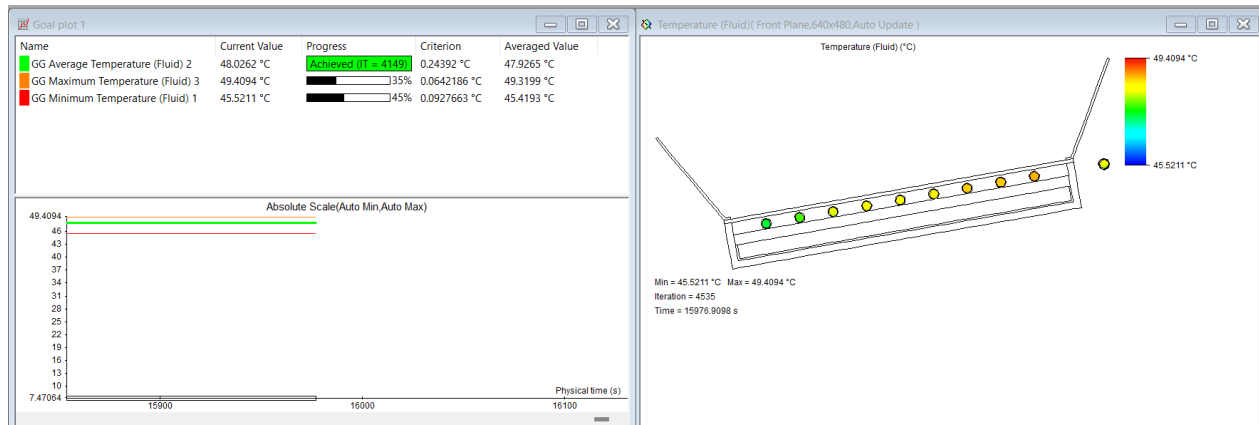
(f) La temperatura promedio del fluido transcurrido 10700 s es 43 °C

Elaboración propia SOLIDWORKS

Luego de 4.4 horas el panel alcanzó una temperatura máxima de 49.49 °C

Figura 66

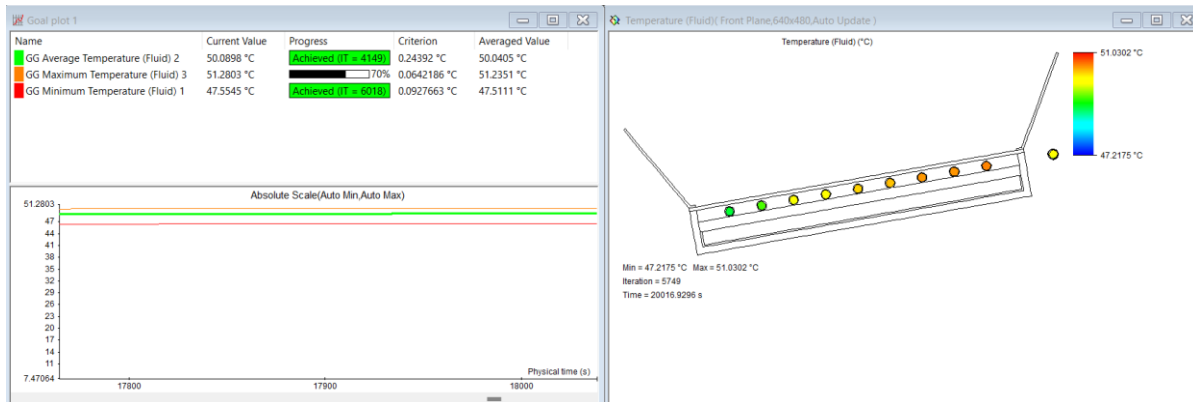
Temperatura promedio alcanzada en 4.4 horas



Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 67

Temperatura promedio alcanzada en 5 horas



Elaboración propia SOLIDWORKS

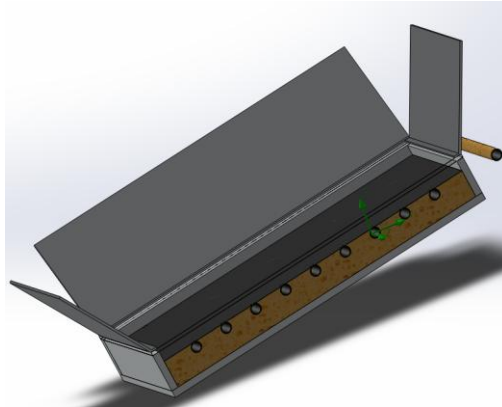
La temperatura promedio alcanzada fue de 50 °C y la máxima en 51 °C es una temperatura excelente considerando que la temperatura del fluido inicio en 7.6°C, lo que permitiría a las personas de las comunidades andinas acceder a una temperatura de confort, esto en más de 5 horas.

Simulación 4: Colector solar plano modificado la placa de absorción en SolidWorks

Modificación a la placa absorbente en espesor y también aislándole mejor.

Figura 68

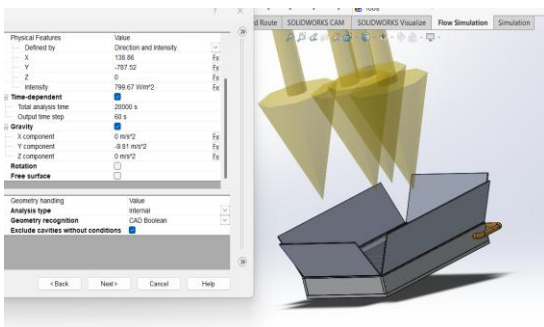
Modificación en el espesor y la colocación de la placa absorbente



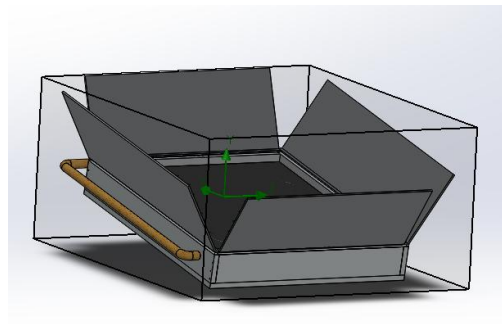
Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 69

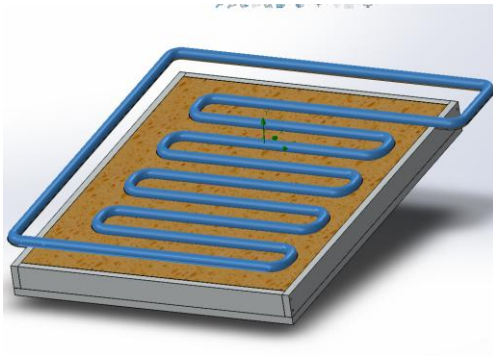
Definición de tipo de estudio, dominio computacional, subdominio de fluido, condiciones de frontera y mallado del colector modificado la placa absorbente.



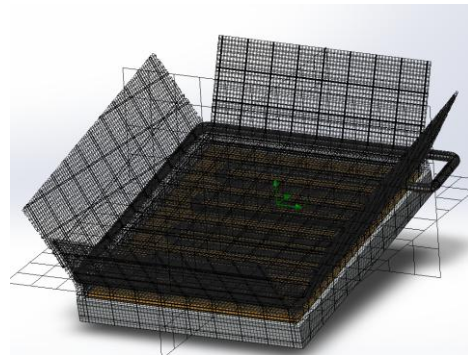
(a) Definición de tipo de estudio y condiciones iniciales



(b) Dominio computacional



(c) Subdominio del fluido

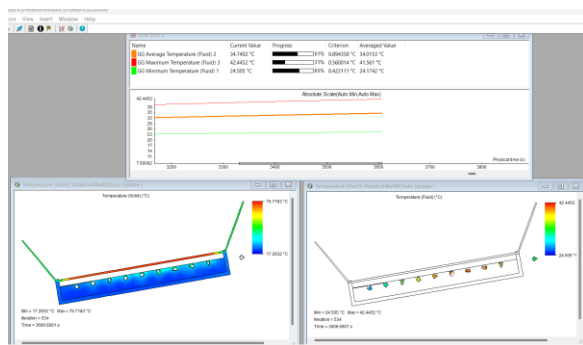


(d) Mallado

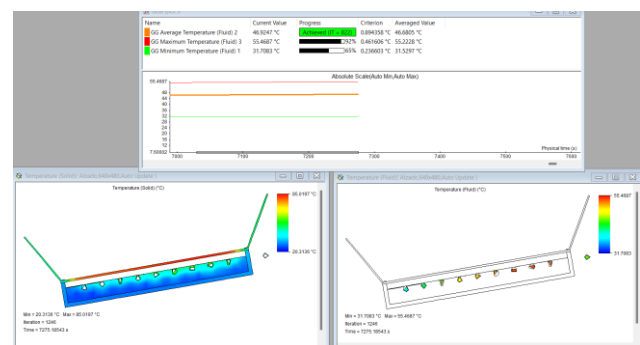
Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 70

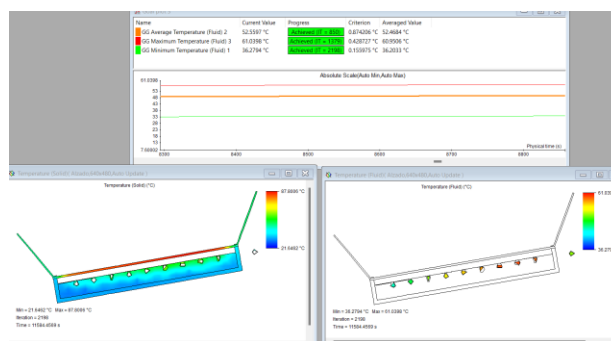
Monitoreo de la simulación para cada hora



(a) Temperatura máxima alcanzada luego de 1 hora es 42 °C y la Temperatura promedio es de 35 °C



(b) Temperatura máxima alcanzada luego de 2 horas es 55 °C y la temperatura promedio es de 45 °C



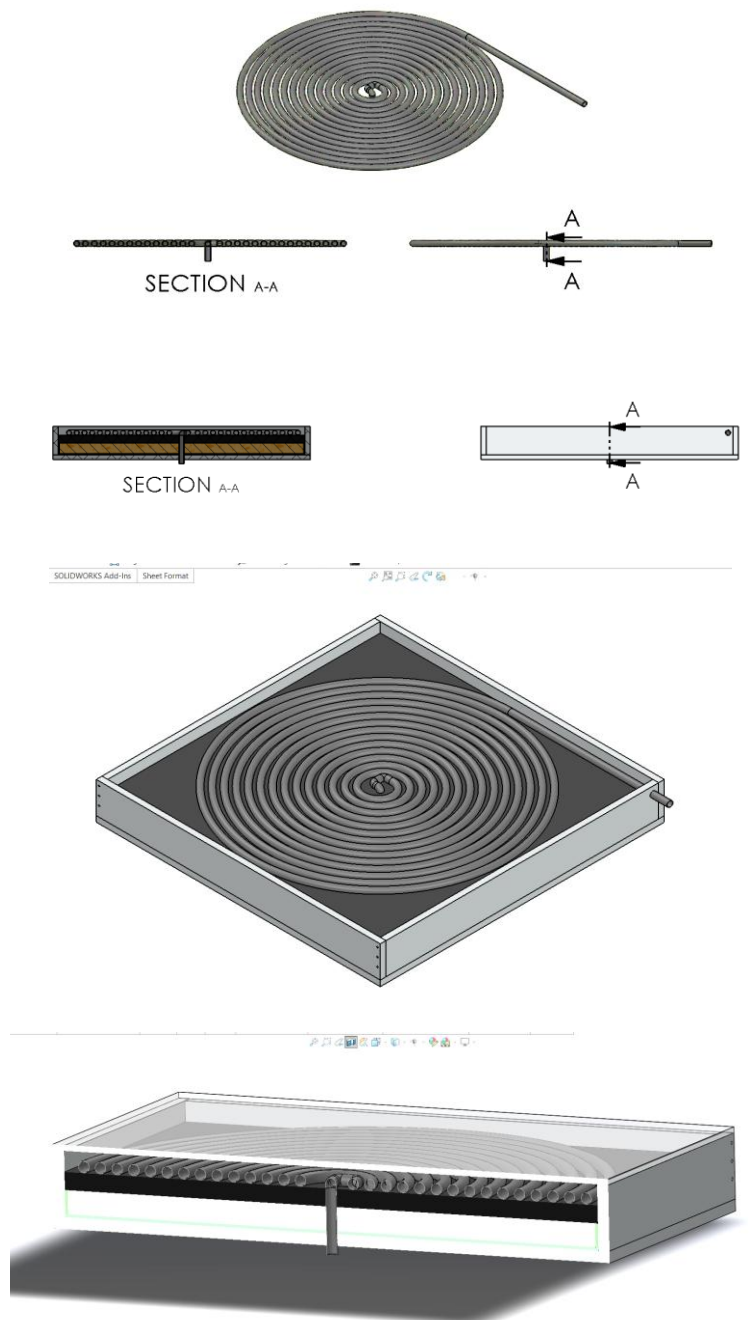
(c) Temperatura máxima alcanzada luego de 3 horas es 61 °C y la temperatura promedio es de 53 °C

Elaboración propia SOLIDWORKS

Simulación 5: Colector solar plano con mangueras circulares en SolidWorks

Figura 71

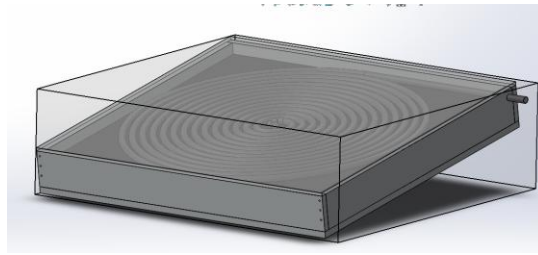
Diseño de colector de mangueras circulares



Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 72

Dominio computacional

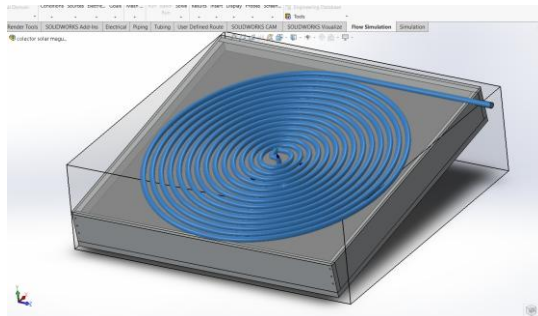


Elaboración propia SOLIDWORKS

Las condiciones de radiación el ángulo de inclinación y la temperatura del agua y del ambiente son las mismas estas condiciones no cambiaran en el programa.

Figura 73

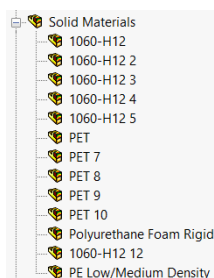
Subdominio computacional



Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 74

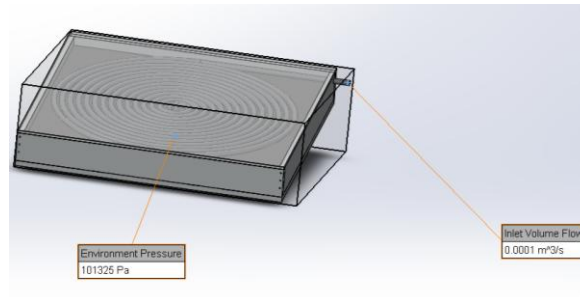
Definición de materiales del colector circular



Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 75

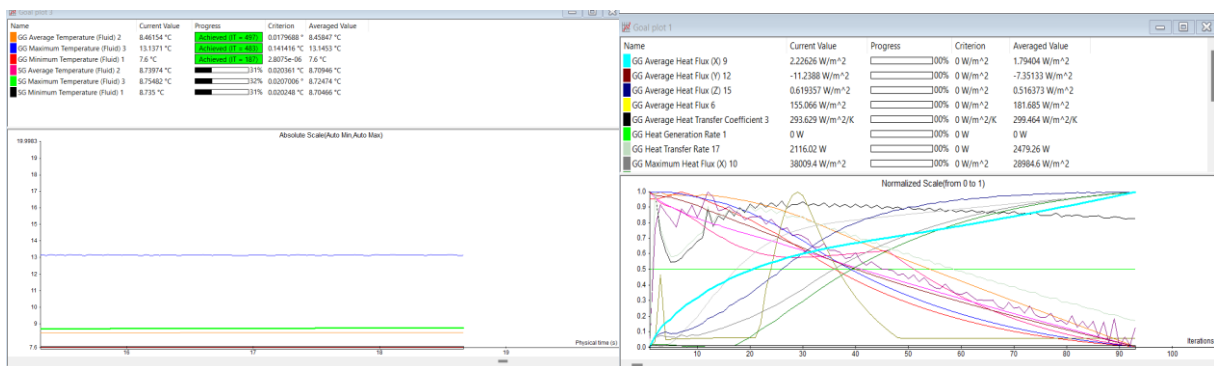
Condiciones de entrada y salida del fluido



Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 76

Inicio y monitoreo de la simulación



Elaboración propia SOLIDWORKS

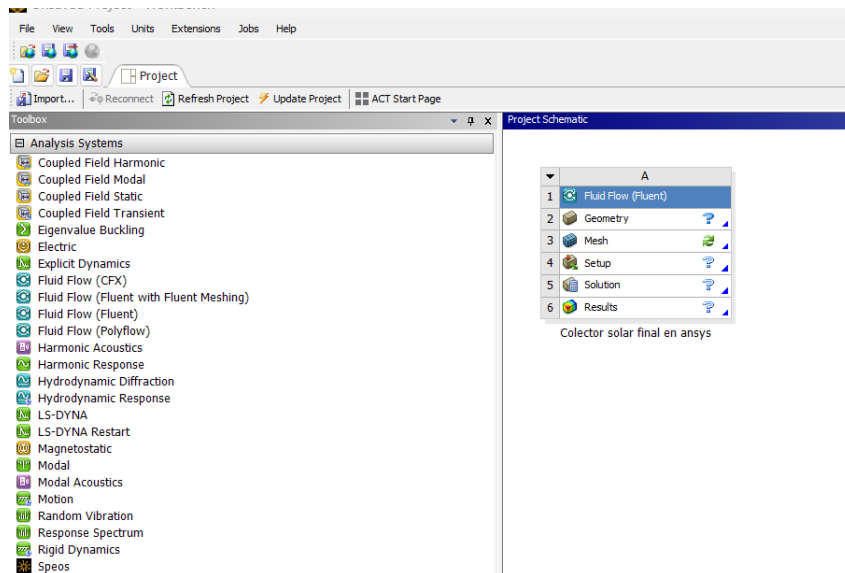
El colector elevó la temperatura de 7.6 °C a 8.6 °C en 20 s, obteniendo una máxima temperatura de 14 °C muy por debajo del colector solar plano.

Simulación 6: Colector solar plano con reflectores modificado la placa de absorción en ANSYS Fluent

Solamente el mejor diseño se analizará en ANSYS con la finalidad de verificar los resultados obtenidos, también debido a que ANSYS tiene mayores opciones en la configuración del mallado, lo que permite disminuir el error de cálculo, para ello se utilizará el mismo modelo realizado en SolidWorks e importarlo en ANSYS.

Figura 77

Espacio de trabajo de ANSYS



Elaboración propia ANSYS

En el caso concreto para el análisis por Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), ANSYS tiene los siguientes módulos que deben ser completados para la simulación.

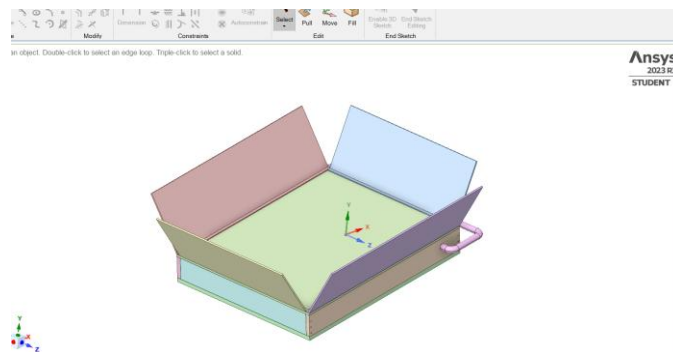
- Geometry
- Mesh
- Setup
- Solution
- Results

Modelo geométrico

Se usa el mismo modelo realizado en SolidWorks, guardado con la extensión IGES y luego se lo importa en ANSYS, es necesario en este proceso reparar las geometrías con la finalidad de eliminar superficies repetidas y para que se solvente todas las situaciones que involucran importar una geometría de un programa a otro, tener una geometría adecuada garantiza tener una malla de alta calidad, también en la geometría es importante crear la zona de fluido en la tubería ya que ANSYS no la detecta automáticamente.

Figura 78

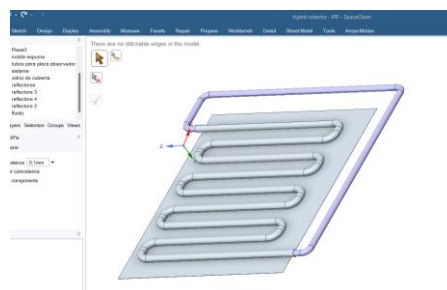
Importación y reparación de la geometría del colector solar



Elaboración propia ANSYS

Figura 79

Generación de la zona de fluido



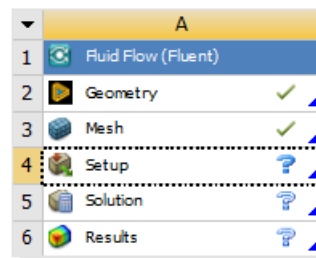
Elaboración propia ANSYS

Mallado

El mallado en ANSYS es su especialidad permite diversas técnicas y formas de mallado lo que permite mayor precisión en los resultados que SolidWorks, por tal razón se realizará el mallado para cada elemento del colector solar por separado dependiendo de la rigurosidad del análisis en cada componente, lo más importante será el mallado de la tubería y de la zona de fluido.

Figura 80

Módulo de ANSYS Fluent para simulación CFD



PhD simulación colector solar

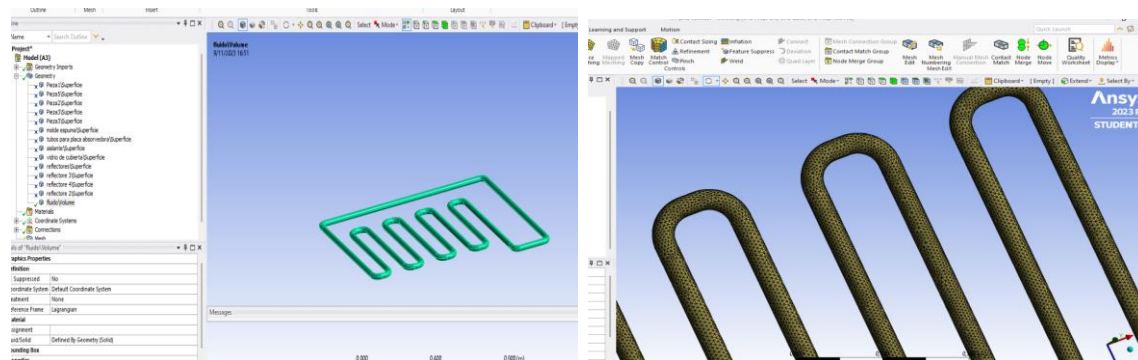
Elaboración propia ANSYS

La zona del fluido representa exactamente al fluido de trabajo que en este caso es agua, indica todo el volumen de agua que se encontrará dentro de la tubería del circuito primario.

Mallado de la zona de fluido

Figura 81

Malla del volumen del fluido en el colector

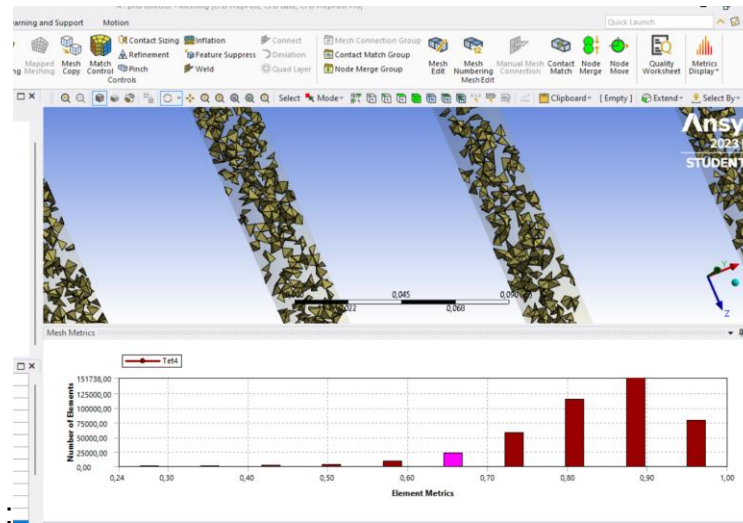


Elaboración propia ANSYS

El programa automáticamente genera tetraedros los cuales en diferentes lugares de la zona del fluido tienen una mejor o peor calidad mientras más se aproximan a 1 tienen mejor calidad, la malla obtenida es una buena malla ya que la mayoría de los elementos de aproxima a uno.

Figura 82

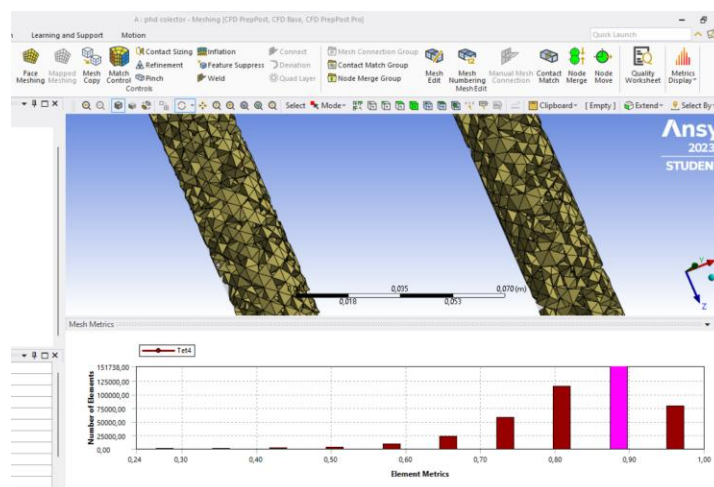
Optimización de la calidad del mallado



Elaboración propia ANSYS

Figura 83

Número de elementos de la malla de zona de fluido con calidad igual cercana al 1

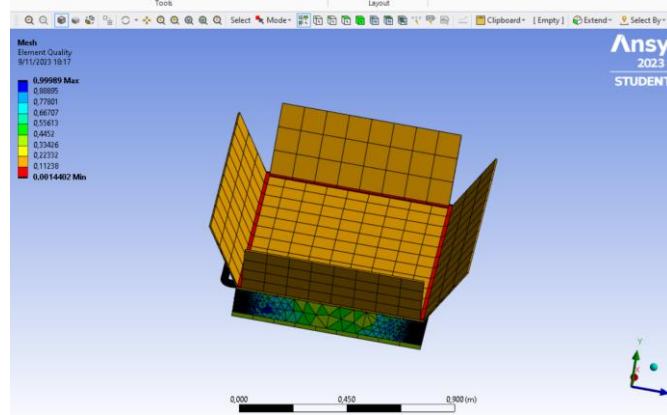


Elaboración propia ANSYS

El mismo proceso se realiza para cada elemento del colector

Figura 84

Mallado total del colector solar en ANSYS

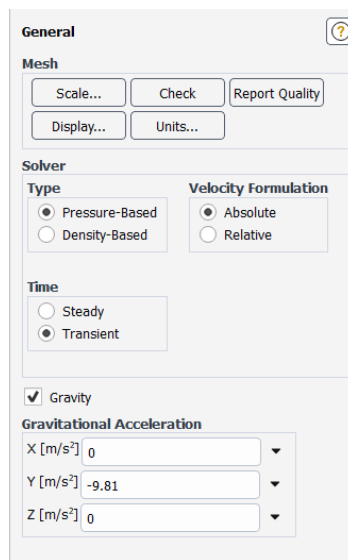


Elaboración propia ANSYS

En el Setup se configura las condiciones de radiación, selección de materiales, propiedades mecánicas, térmicas, ópticas, tipo de estudio, condiciones de frontera y parámetros para la simulación

Figura 85

Configuración general del Setup en ANSYS



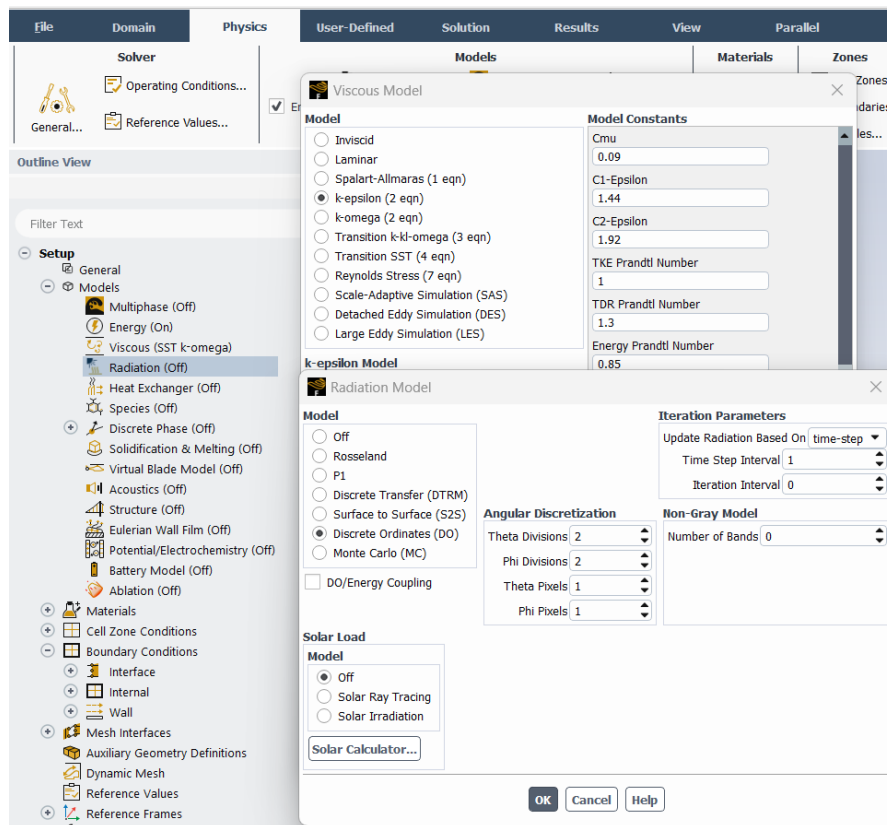
Elaboración propia ANSYS

También en este apartado general se selecciona el tipo de estudio, el cual es transitorio, es decir dependiente del tiempo pues se quiere ver la evolución de la temperatura del fluido con el tiempo, se elige Pressure-Based, ya que es un modelo para flujos incompresible o ligeramente compresibles, el modelo sería el recomendado porque el fluido de trabajo es el agua, se coloca el valor de la gravedad la cual afecta el movimiento del fluido para el efecto termosifón del colector.

Después es necesario elegir el modelo, esto en referencia a las ecuaciones que ANSYS debe resolver para la simulación de la transferencia de calor, para estas simulaciones debe estar encendido el apartado de energía y como se trata de un estudio de radiación solar también elegir el modelo de radiación solar más adecuado, para establecer el valor de la radiación en el lugar donde se colocará el colector solar.

Figura 86

Selección del modelo de energía para la transferencia de calor y el modelo k-épsilon



Elaboración propia ANSYS

Sobre los modelos de radiación ofrecidos por ANSYS tenemos

RTE o P1 (Radiative Transfer Equation o First-Order Radiative Transfer):

- Es una aproximación que funciona bien para medios ópticamente gruesos donde la radiación se dispersa muchas veces antes de ser absorbida o emitida.
- Puede no ser la opción más precisa para sistemas en los que la radiación directa del sol es importante.

Discrete Transfer (DTRM):

- Es adecuado para problemas donde la radiación juega un papel importante donde hay una diferencia significativa entre la absorción y la dispersión.
- Requiere menos recursos computacionales que otros métodos más precisos como DO o MC.

Surface to Surface (S2S):

- Adecuado para sistemas con una geometría complicada y donde la radiación entre superficies es importante.
- No considera la radiación a través del medio (aire, en el caso de un colector solar).

Discrete Ordinates (DO):

- Es uno de los métodos más utilizados y es adecuado para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la radiación solar directa e indirecta.
- Puede manejar la absorción, dispersión y radiación en medios participativos (como el aire en tu colector solar).
- Es más costoso en términos de recursos computacionales que el DTRM o el S2S.

Monte Carlo (MC):

- Es el método más preciso, pero también es el más demandante computacionalmente.
- Utiliza técnicas de simulación estocástica para resolver la ecuación de transferencia radiativa y es adecuado para geometrías complejas y medios participativos.

Vamos a elegir el método DO, pues es el que más se ajusta a las necesidades del problema, permitiendo analizar diferentes materiales en función de su conductividad térmica afectan al rendimiento del colector, también puede simular como las variaciones de radiación, temperatura ambiente y otros factores externos podrían afectar la operatividad del colector solar.

Discrete Ordinates (DO)

Figura 87

Selección del modelo de radiación solar

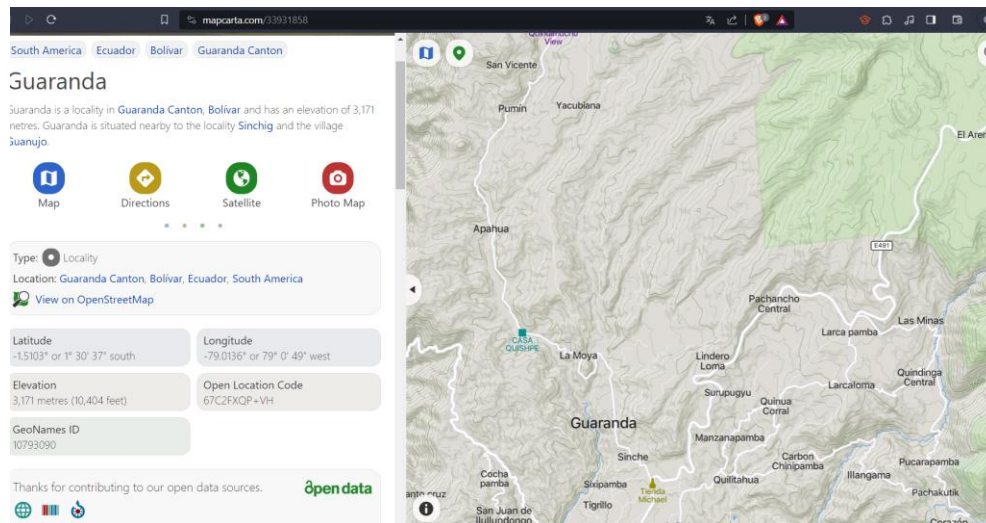
The screenshot shows the 'Radiation Model' dialog box in ANSYS. The 'Model' section has 'Discrete Ordinates (DO)' selected. The 'Iteration Parameters' section shows 'Update Radiation Based On' set to 'time-step', 'Time Step Interval' set to 1, and 'Iteration Interval' set to 0. The 'Angular Discretization' section shows 'Theta Divisions' set to 2, 'Phi Divisions' set to 2, 'Theta Pixels' set to 1, and 'Phi Pixels' set to 1. The 'Non-Gray Model' section shows 'Number of Bands' set to 0. The 'Solar Load' section has 'Model' set to 'Solar Ray Tracing'. The 'Sun Direction Vector' section shows X: -0.1675992, Y: 0.4212789, and Z: 0.8913106, with 'Use Direction Computed from Solar Calculator' checked. The 'Illumination Parameters' section shows 'Direct Solar Irradiation [W/m²]' set to 'constant' with a value of 1423, 'Diffuse Solar Irradiation [W/m²]' set to 'constant' with a value of 200, and 'Spectral Fraction [V/(V+IR)]' set to 0.5. The 'Update Parameters' section shows 'Time Steps per Solar Load Update' set to 10. The 'Solar Calculator...' button is also visible.

Elaboración propia ANSYS

Al seleccionar Solar Ray Tracing permite el seguimiento de la radiación solar de manera detalla, también a diferencia de SolidWorks ANSYS permite elegir la radiación solar en función de longitud y latitud de una manera más simple.

Figura 88

Ubicación geográfica de los páramos andinos en función de su latitud y longitud



Fuente: <https://mapcarta.com/33931858>

Figura 89

Ingreso de datos a la calculadora solar de ANSYS

Global Position	
Longitude [deg]	-79.0136
Latitude [deg]	-1.5103
Timezone (+GMT)	-5

Mesh Orientation	
North	East
X 0	X 1
Y 1	Y 0
Z 0	Z 0

Starting Date and Time	
Day of Year	Time of Day
Day 21	Hour 13
Month 6	Minute 0

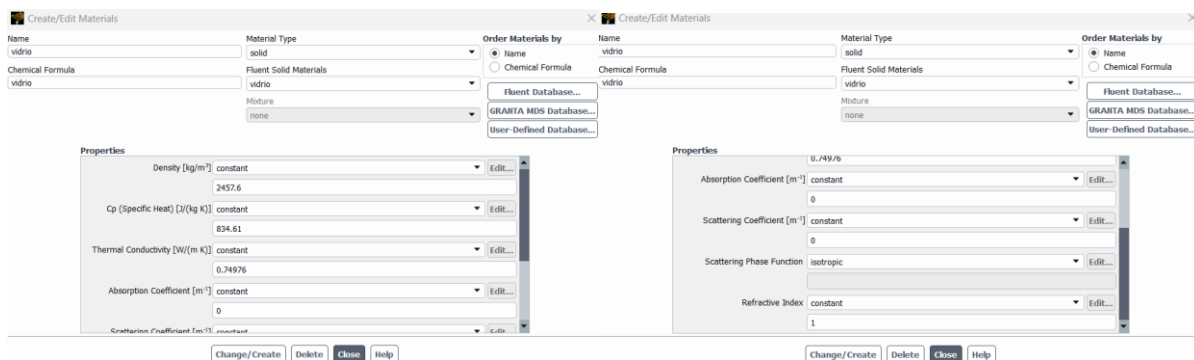
Solar Irradiation Method	
☐ Theoretical Maximum ☒ Fair Weather Conditions	
Options	
Sunshine Factor 1	

Elaboración propia ANSYS

La configuración de los materiales es muy importante, la selección del modelo de energía en ANSYS permite establecer las propiedades más relevantes para la simulación de la transferencia de calor, dentro de las propiedades necesarias esta la densidad, calor específico, conductividad térmica, coeficiente de absorción, reflectividad y emisividad, esta últimas son fundamentales en la cubierta de vidrio, esas propiedades ópticas determinaran la cantidad de energía que ingresa al sistema.

Figura 90

Configuración de propiedades de los materiales que conforman el colector solar



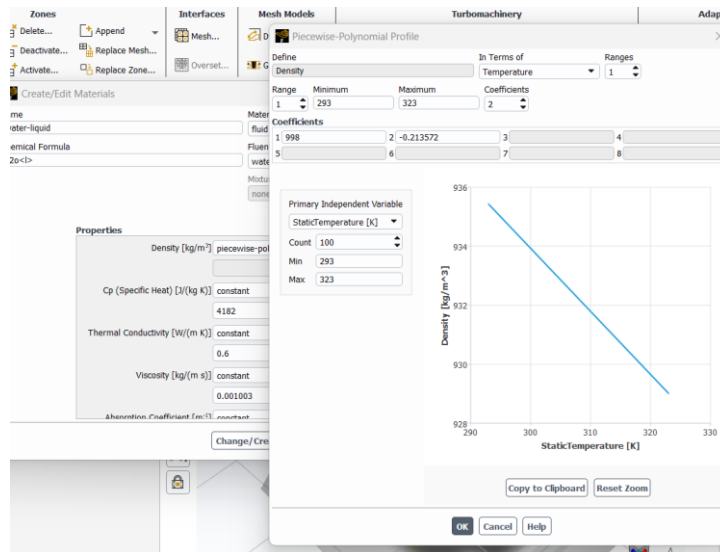
Elaboración propia ANSYS

Para todos los materiales constituyentes del colector se ingresan las propiedades anteriormente mencionadas, los perfiles de aluminio, el material aislante, la cubierta de vidrio y el papel aluminio.

En el fluido hay que tomar una consideración adicional, para establecer la función de la densidad, es de vital importancia en el caso del fluido caloportador, ya que para lograr el efecto termosifón la densidad varía con la temperatura, para poder tener esto en el programa se selecciona que la densidad es una función polinomial de la temperatura, para ello es necesario establecer condiciones iniciales, por ejemplo que la densidad al inicio tiene un valor de 998 kg/m^3 y el coeficiente de expansión térmica, el cual indica que el valor la densidad se ve disminuido al aumentar la temperatura, lo cual favorece el efecto termosifón.

Figura 91

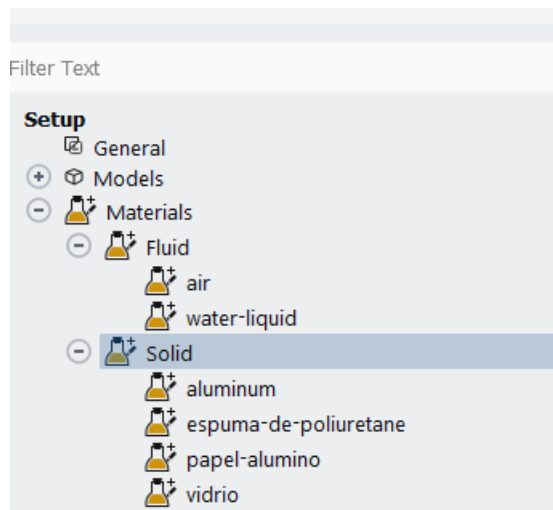
Relación matemática de la densidad con la temperatura



Elaboración propia ANSYS

Figura 92

Materiales configurados en ANSYS Fluent con sus características térmicas, mecánicas y ópticas

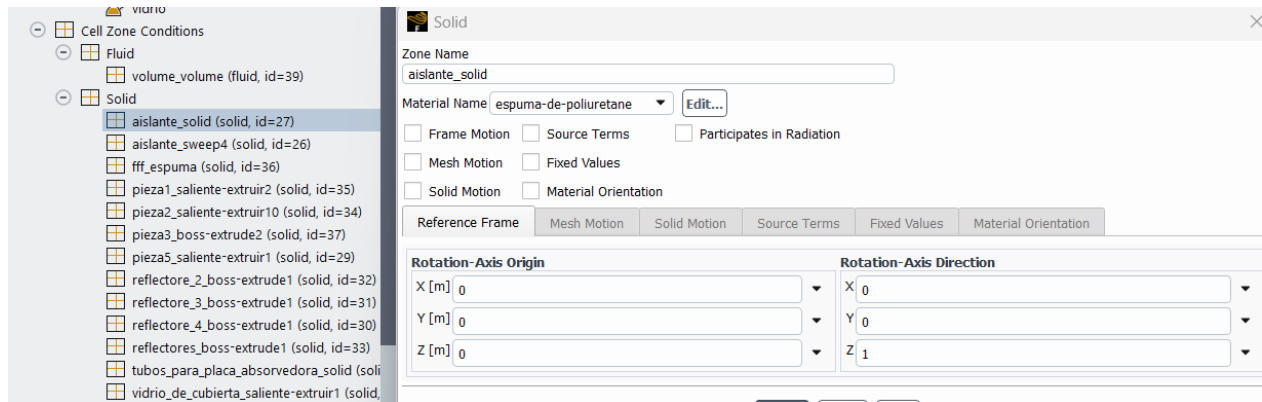


Elaboración propia ANSYS

El programa reconoce las dos zonas importantes la zona de fluido y la de materiales sólidos, se establece si los componentes participan o no en la radiación, en el caso del fluido esto estará desactivado, sin embargo, para la placa absorbidora debe estar activada la participación, ya que esta es la encargada de absorber el calor y luego transferirlo al fluido.

Figura 93

Configuración de las zonas de fluido y de sólidos



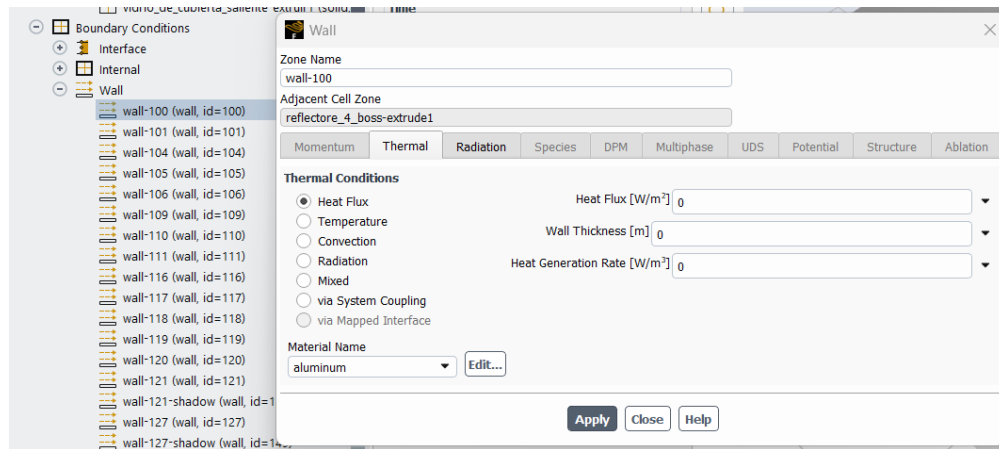
Elaboración propia ANSYS

Al definir las condiciones de frontera, se debe tener un cuidado especial, pues permite definir como interactúa el colector a simular con su entorno y la interacción entre los distintos contactos y componentes, esas condiciones permiten establecer si existe transferencia de calor entre las paredes, la temperatura de las paredes, si las paredes están expuestas o no a la radiación solar, si existe convección sobre las superficies, es decir en este apartado se configuran los supuestos reales o suposiciones fundamentadas sobre las condiciones operativas a las cuales estará expuesto el colector solar.

A diferencia de otras simulaciones en las cuales el fluido tiene una entrada y una salida, en las cuales se definen condiciones de entrada(inlet) y condiciones de salida(outlet), en el efecto termosifón no existen lo que si se define son las condiciones iniciales a las cuales se encontraban las paredes y el fluido y a partir de estas se calentará, procurando garantizar el efecto termosifón.

Figura 94

Configuración condiciones de frontera

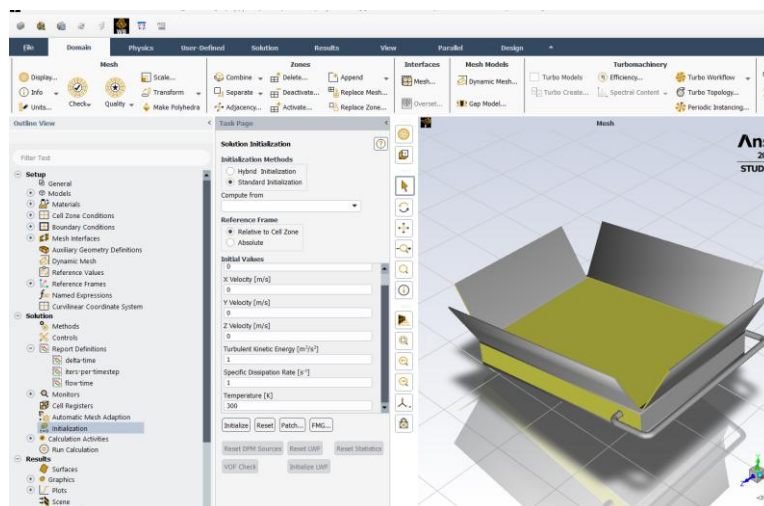


Elaboración propia ANSYS

En el inicio de la simulación en el apartado Initialization, estable las condiciones iniciales de las variables, de temperatura y presión, en el contexto del prototipo simulado la temperatura es la temperatura ambiente, el propósito de este paso es indicar el punto de partida para los cálculos numéricos que pueden garantizar una correcta convergencia de los valores y evitar problemas en el proceso.

Figura 95

Condiciones para inicio de la simulación

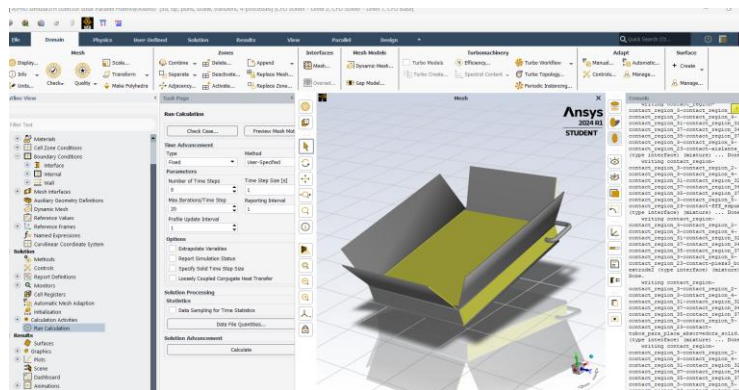


Elaboración propia ANSYS

Definido las condiciones de contorno y todas las demás propiedades, se ordena al programa que realice las soluciones de las ecuaciones de Navier-Stokes, para ello se define las iteraciones y pasos de tiempo, con qué frecuencia el programa guardará los resultados, también es necesario establecer los parámetro y criterios para determinar que la simulación ha convergido.

Figura 96

Ejecutar la simulación

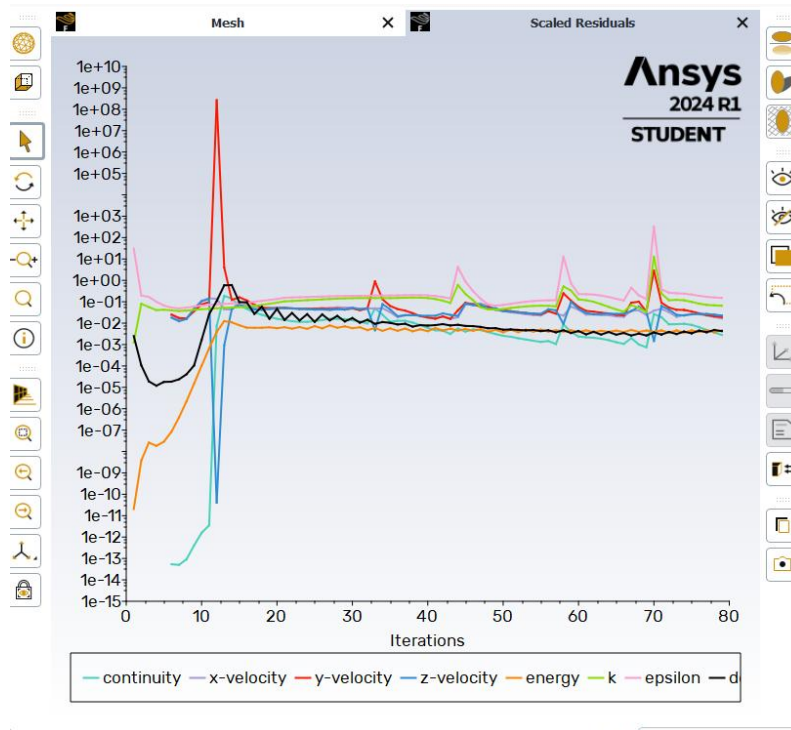


Elaboración propia ANSYS

El monitoreo de las iteraciones es necesario, para ver cómo van cambiando en el tiempo los parámetros, las líneas que presenta ANSYS en el simulación tienen un significado con respecto a que ecuaciones y modelos está resolviendo el software, la primera línea es la de la continuidad, indica la ley de la continuidad, las líneas de velocidad, representan las ecuaciones del momento, la línea de energía, representa la solución de la ecuación de la energía conforme pasa el tiempo, la línea k-epsilon es el modelo de turbulencia y la tasa de disipación, los picos del inicio en las primeras iteraciones son grandes lo que se debe observar es la estabilización de estos picos que darán luces a que el sistema está convergiendo a la solución de las ecuaciones mencionadas.

Figura 97

Monitoreo de los parámetros de la simulación



Elaboración propia ANSYS

Proceso de construcción del colector solar

A continuación, se detallan los pasos para la construcción del colector solar elaborado con materiales reciclados.

Estructura del colector solar elaborado con perfiles de aluminio reciclado usados en marco de ventanas. De las dimensiones indicadas en el prototipo

Fotografía 1

Marco de ventana de aluminio reciclado



Elaboración propia

Base del colector lamina de aluminio, la base se une a la estructura por tornillos y se coloca aislante térmico, sobre la base de aluminio se colocan tanto el PET como espuma rígida de poliuretano obtenida de sofás que y no se usan.

Fotografía 2

Colocación del aislante térmico



Elaboración propia

Para unir la placa absorbidora de aluminio y los tubos de aluminio pintados de negro se va a utilizar asfalto para disminuir los costos de soldadura y también considerando la dificultad que tiene la soldadura de dos componentes de aluminio, la cubierta de vidrio se colocó con aislante que impide fugas de calor y que se introduzca agua al interior

Fotografía 3

Colector solar plano de materiales reciclados



Elaboración propia

Para aumentar la superficie de colección del colector se colocaron reflectores realizados con materiales reciclados.

Fotografía 4

Reflectores de papel aluminio



Elaboración propia

Tamaño de la muestra

En Ecuador los páramos se distribuyen en la mayoría de las provincias, no son exclusivos de provincias de la serranía ecuatoriana.

Tabla 9 La extensión de páramos en el Ecuador por provincia

Provincia	Hectáreas de extensión
Esmeraldas	166
Sucumbíos	12249
El Oro	15660
Bolívar	34264
Loja	37687
Carchi	48878
Imbabura	61561
Zamora Chinchipe	73530
Tungurahua	95346
Cañar	97477
Cotopaxi	111085
Morona Santiago	126751
Pichicha	146807
Chimborazo	196327
Azuay	213664
Napo	249697
Total	1521148

Fuente: (Hofstede, Mena-Vázquez, & Suárez Robalino, 2023)

Considerando que las comunidades de los páramos andinos objeto de este estudio son, las que se encuentran en la provincia de Tungurahua, para poder calcular el tamaño de la muestra es necesario determinar la cantidad de personas que viven en esas zonas para ello se utiliza la página web del gobierno ecuatoriano censos.

Tabla 10 Población de la provincia de Tungurahua según Censo del año 2022

Provincia, cantón y área de residencia			Número total de personas	Sexo al nacer	
				Hombres	Mujeres
Tungurahua	Total Tungurahua	Total Tungurahua	563.532	271.101	292.431
Tungurahua	Total Tungurahua	Urbana	225.249	108.090	117.159
Tungurahua	Total Tungurahua	Rural	338.283	163.011	175.272
Tungurahua	Ambato	Total Ambato	370.664	178.019	192.645
Tungurahua	Ambato	Urbana	177.316	85.077	92.239
Tungurahua	Ambato	Rural	193.348	92.942	100.406
Tungurahua	Baños de Agua Santa	Total Baños de Agua Santa	21.908	10.686	11.222
Tungurahua	Baños de Agua Santa	Urbana	14.100	6.702	7.398
Tungurahua	Baños de Agua Santa	Rural	7.808	3.984	3.824
Tungurahua	Cevallos	Total Cevallos	10.433	5.032	5.401
Tungurahua	Cevallos	Urbana	3.754	1.800	1.954
Tungurahua	Cevallos	Rural	6.679	3.232	3.447
Tungurahua	Mocha	Total Mocha	7.260	3.553	3.707
Tungurahua	Mocha	Urbana	1.516	714	802
Tungurahua	Mocha	Rural	5.744	2.839	2.905
Tungurahua	Patate	Total Patate	13.879	6.783	7.096
Tungurahua	Patate	Urbana	2.514	1.245	1.269
Tungurahua	Patate	Rural	11.365	5.538	5.827
Tungurahua	Quero	Total Quero	19.084	9.335	9.749
Tungurahua	Quero	Urbana	3.269	1.581	1.688
Tungurahua	Quero	Rural	15.815	7.754	8.061
Tungurahua	San Pedro de Pelileo	Total San Pedro de Pelileo	63.897	30.669	33.228
Tungurahua	San Pedro de Pelileo	Urbana	11.403	5.437	5.966
Tungurahua	San Pedro de Pelileo	Rural	52.494	25.232	27.262
Tungurahua	Santiago de Píllaro	Total Santiago de Píllaro	42.497	20.289	22.208
Tungurahua	Santiago de Píllaro	Urbana	9.816	4.776	5.040
Tungurahua	Santiago de Píllaro	Rural	32.681	15.513	17.168
Tungurahua	Tisaleo	Total Tisaleo	13.910	6.735	7.175
Tungurahua	Tisaleo	Urbana	1.561	758	803
Tungurahua	Tisaleo	Rural	12.349	5.977	6.372

Fuente: (Gobierno de Ecuador, 2022)

El cantón Quero tiene una población rural de 15815 habitantes, es el cantón que se va analizará, en esta zona rural se encuentran las parroquias de Rumipamba y Yanayacu, la comunidad en análisis pertenece a la parroquia Yanayacu.

La población existente en esta parroquia es de 1978 personas. (Gobierno Municipal del Cantón Quero, s.f.)

Considerando un promedio de 4 individuos por familia tenemos

$$\text{número de familias} = \frac{1978}{4}$$

$$\text{número de familias} = 494.5$$

El modelo para el cálculo del tamaño de la muestra es para un estudio cualitativo.

Cálculo del tamaño de la muestra

$$n = \frac{Nz^2pq}{(N - 1)\epsilon^2 + z^2pq}$$

Donde:

N *Tamaño de la población*

p *Ocurrencia (Es la probabilidad que si se de el evento)*

q *No ocurrencia (Es la probabilidad de que no se de un evento)*

z *Valor de probabilidad (Depende del nivel de confianza)*

ϵ *Error (Es el error esperado depende tambien del nivel de confianza)*

n *Tamaño de la muestra*

La confianza para esta encuesta será del 95%, para este nivel de confianza el valor del factor de distribución “z” es de 1.96, el error será considerado del 5% o de 0.05 en tanto por uno, también se considerará que no hay encuestas previas, por tal razón los valores de p y q serán de 50% cada una.

Datos:

$N=$ 494.5

$p=$ 0.5

$q=$ 0.5

$z=$ 1.96

$\epsilon=$ 0.05

$$n = \frac{494.5 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{(494.5 - 1)0.05^2 + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$n = 216.45$ familias

La encuesta se debe realizar a 216 familias las cuales viven en las zonas del páramo, como es un prototipo las partes interesadas son inicialmente un grupo pequeño de la comunidad que representa el 10 % de la muestra es decir 22 familias las cuales serán encuestadas. En el Anexo 2 está el modelo de la encuesta con sus preguntas y el Anexo 3 las respuestas que las familias dieron a las preguntas planteadas.

RESULTADOS

En relación a los páramos andinos, las comunidades son expuestas a situaciones severas de marginaciones socioeconómicas, exacerbadas por el limitado acceso a los servicios básicos uno de ellos la energía, la cual agudiza su vulnerabilidad, la situación se complica aún más debido al aislamiento geográfico y a las extremas condiciones climáticas que soportan, frente a este escenario surge la propuesta de desarrollar un prototipo de colector solar elaborado con materiales reciclados, facilitando el acceso al agua caliente, este proyecto promueve la sostenibilidad y el aprovechamiento eficiente de los recursos, al reincorporar materiales que, de otro modo, contribuirían al volumen de residuos.

Identificar entre los materiales reciclados, cuales tiene las mejores propiedades térmicas y mecánicas para generar energía térmica en el colector.

En la siguiente tabla se muestra las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales reciclados utilizados en la simulación, los datos obtenidos son de la revisión bibliográfica, así como también de las bases de datos de los softwares de simulación, en las cuales para los materiales que no se encontraban ingresados, permitieron crear nuevos materiales con las propiedades requeridas.

Tabla 11 Propiedades de los materiales reciclados utilizados para el colector solar

Componentes	Material	Densidad Kg/m ³	Coefficiente de expansión térmica 1/k	Conductiv idad térmica W/(mK)	Calor específico J/(kg.k)	Reflectividad	Emisividad	Absorbancia	Transmitancia
Placa absorbedora	Aluminio 1060 H-12	2705	2.36e-05	230	900				
Tubería	Aluminio 1060 H-12	2705	2.36e-05	230	900				
Estructura	Aluminio 1060 H-12	2705	2.36e-05	230	900				
Aislamientos	PET	1420		0.261	1140				
	Espuma rígida de Poliuretano		30e-6 a 40e-6	0.020	1200-1400				
Reflectores	Papel Aluminio	2705	2.36e-05	235	900	80%-90%	0.03-0.05	20%-10%	
Cubierta	Vidrio de ventanas	2457.6	9e-06	0.74976	834.61	8%-10%	0.84-0.89	5%-10%	80%-90%

Fuente: Elaboración propia con datos recabados en este documento

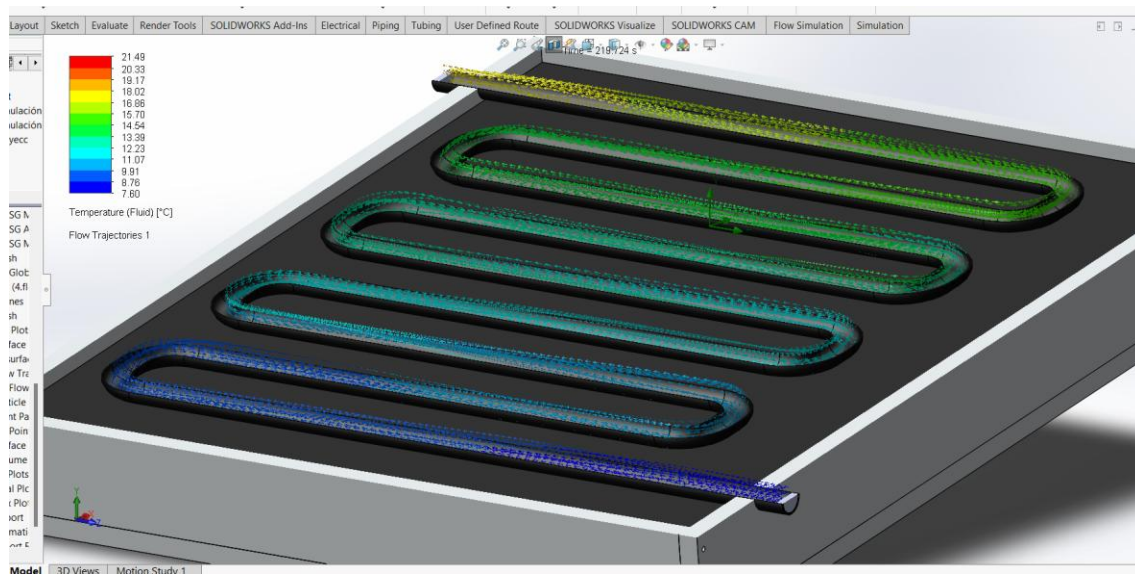
Establecer el prototipo de captación solar para calentar el agua, con materiales reciclados y simular su comportamiento por CFD (Dinámica de fluidos computacional).

Simulación 1: Colector solar plano flujo directo

En la primera simulación, se realizó tomando en cuenta el flujo continuo del agua, la cual se calentaba a través del tiempo, el flujo de agua estaba expuesto a la radiación solar, en esta simulación se identificó como interactuaba la radiación con los componentes del colector solar, la radiación absorbida, reflejada y la más importante la entregada al fluido caloportador.

Figura 98

Resultado de la máxima temperatura alcanzada por el colector en la simulación 1



Elaboración propia SOLIDWORKS

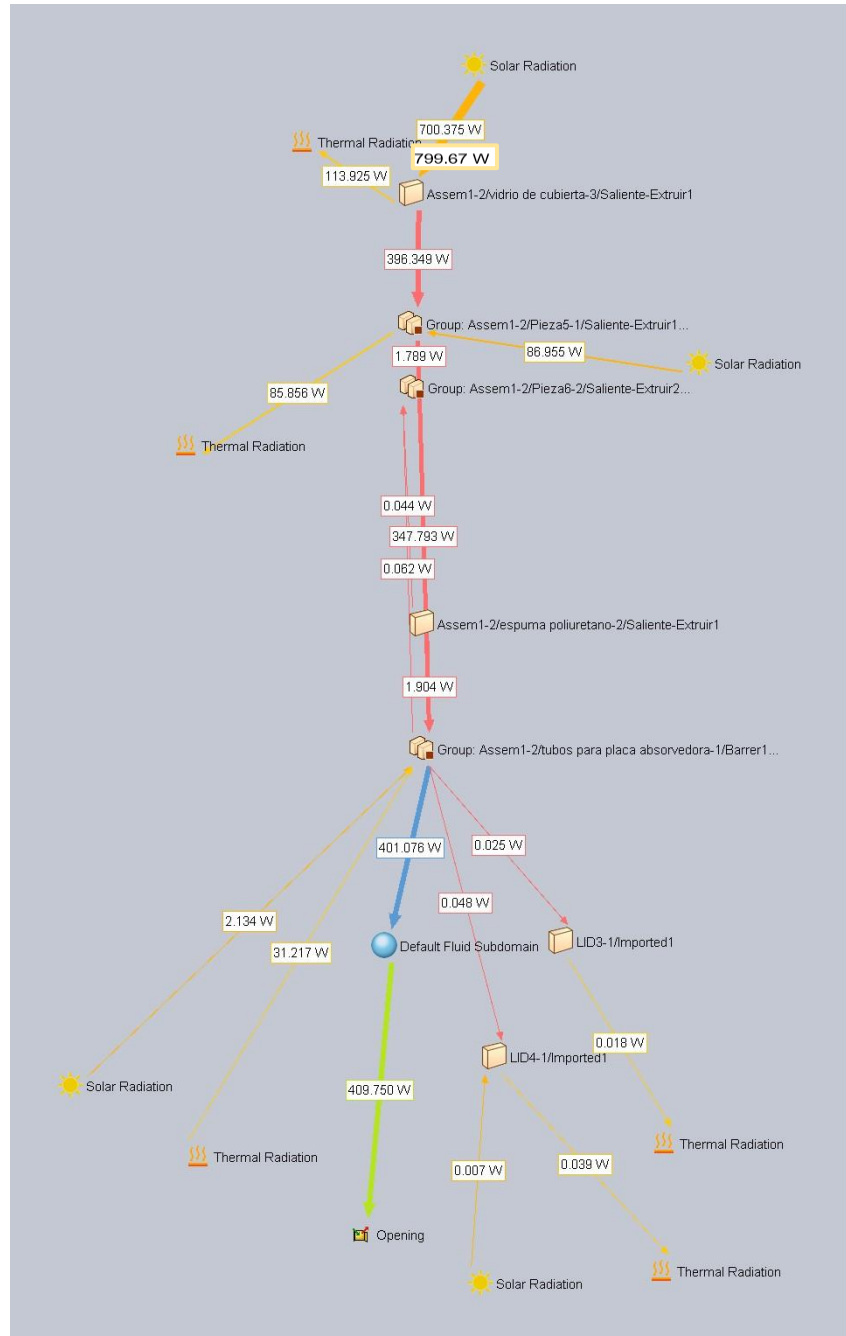
La temperatura de entrada de agua es de 7.6 °C y la máxima alcanzada al pasar por el colector solar en la salida es de 21.49 °C, elevado la temperatura del agua 13.89 °C.

La transferencia de calor permite identificar la interacción de la radiación con los componentes constituyentes del colector solar.

Para la simulación de la transferencia de calor le tomó al software 5 horas hasta llegar a la convergencia de la solución.

Figura 99

Energía térmica transferida en cada componente del colector en la simulación 1



Elaboración propia SOLIDWORKS

En la imagen anterior se muestra la transferencia de calor, tomando en cuenta la potencia inicial fué de 799.67 W, llegando finalmente al fluido una potencia de 409.75 W por lo que se calculó la eficiencia del colector solar, también se puede observar que los materiales aislantes han cumplido con su trabajo de disminuir la pérdida de calor.

$$n(\text{eficiencia del colector}) = \frac{\text{Potencia irradiación transferida al fluido}}{\text{Potencia irradiación total incial que llega al colector}} \times 100\%$$

$$n = \frac{409.75}{799.67} \times 100\%$$

$$n = 51.24\%$$

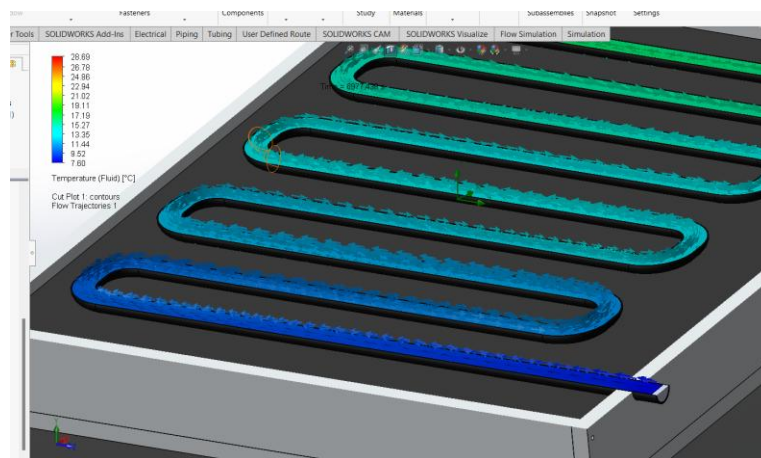
El rendimiento del colector solar plano realizado con materiales reciclados es de 51.24%, comparado con los que se venden comercialmente se encuentra en el rango de esos colectores, cuyo rendimiento oscila entre del 50% al 80%.

Simulación 2: Colector solar plano flujo directo con reflectores

El efecto de los reflectores en la temperatura fue importante, mejorando la temperatura máxima alcanzada por el colector solar, la temperatura máxima alcanzada por el fluido es de 28.69°C.

Figura 100

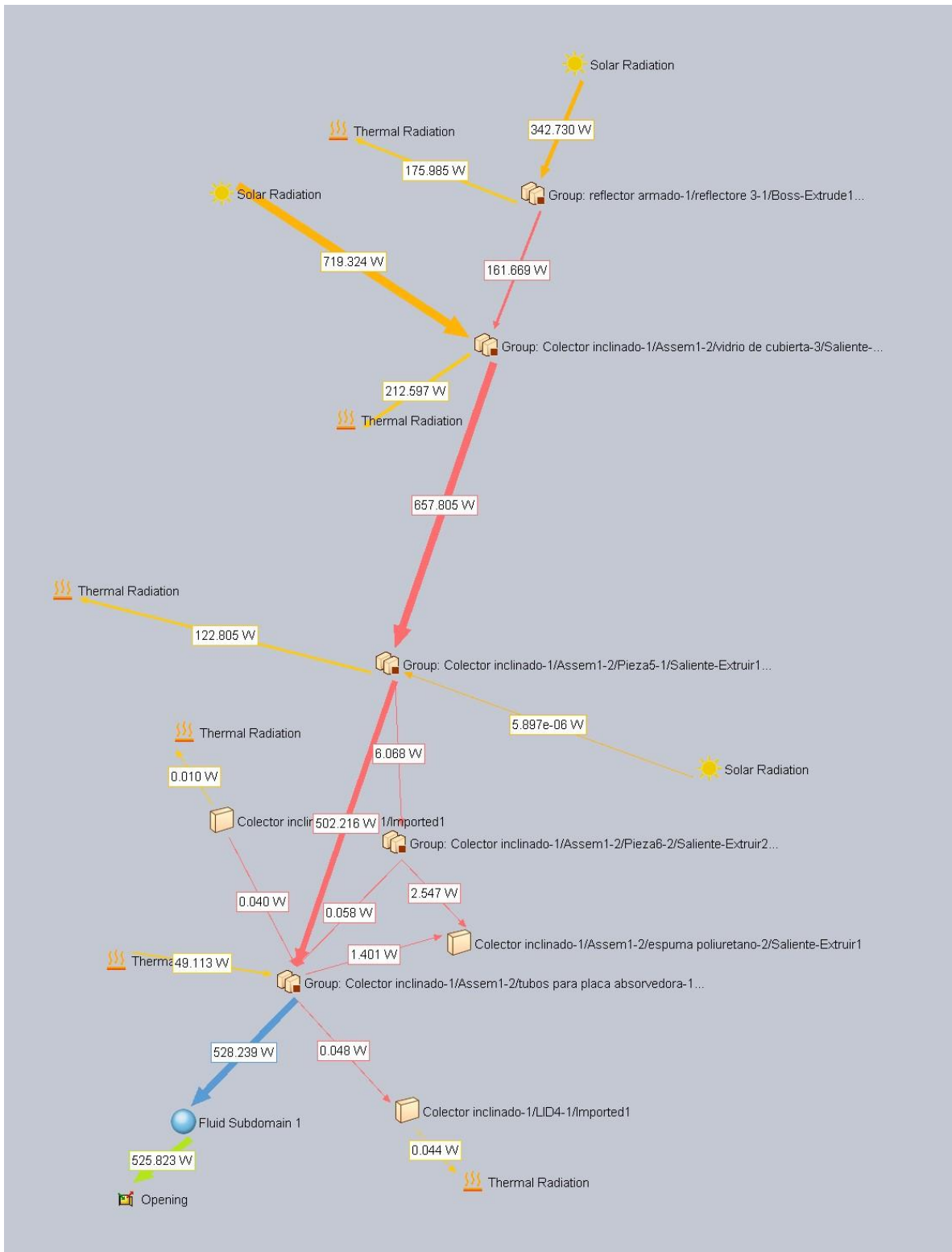
Temperatura máxima alcanzada por el agua en la simulación 2



Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 101

Calor transferido por cada componente del colector hacia el fluido en la simulación 2



Elaboración propia SOLIDWORKS

En la imagen anterior se mostró la transferencia de calor de la radiación solar hacia cada componente del colector, llegando finalmente al fluido una potencia de 528.239 W por lo que se puede calcular la eficiencia del colector solar.

$$n(\text{eficiencia del colector}) = \frac{\text{Potencia irradiación transferida al fluido}}{\text{Potencia irradiación total inicial que llega al colector}} \times 100\%$$

$$n = \frac{528.239}{799.67} 100\%$$

$$n = 66.1\%$$

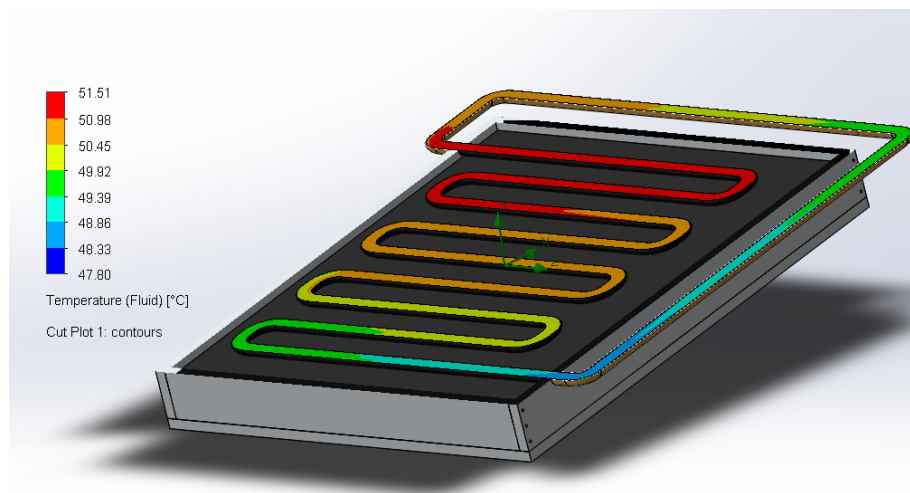
El rendimiento del colector solar plano realizado con materiales reciclados fue de 66.1%, la superficie reflectora ha cumplido con el objetivo.

Simulación 3: Colector solar plano con efecto termosifón

El agua del circuito primario del colector solar con efecto termosifón llegó a una temperatura máxima de 51.51°C, este aumento se debe a que no existe un ingreso ni una salida de agua, el agua se mueve por la diferencia de densidades, el agua de este circuito primario se encargará de transferir el calor, a el agua que se encuentra en el recipiente de almacenamiento o de uso sanitario.

Figura 102

Máxima temperatura a la que llegó el agua en la simulación número 3



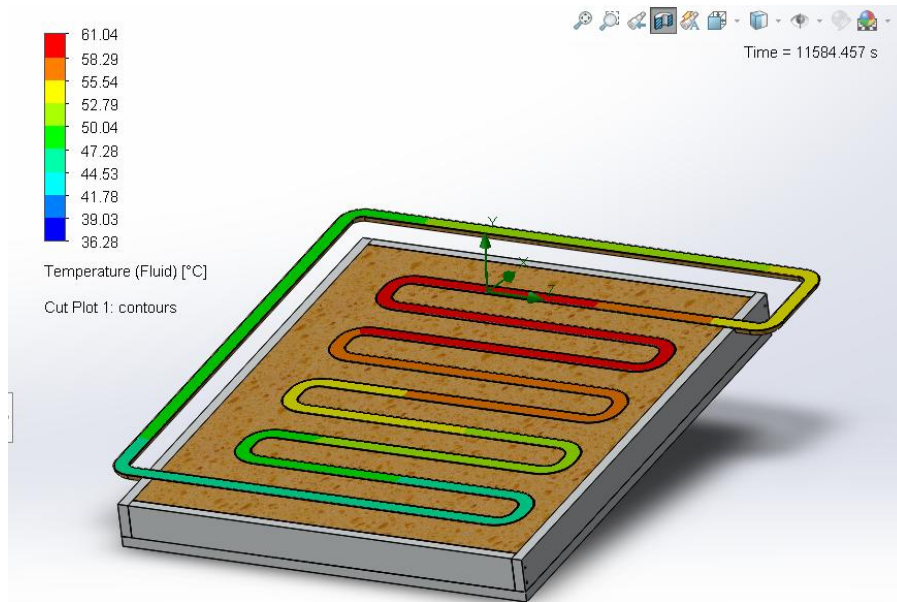
Elaboración propia SOLIDWORKS

Simulación 4: Colector solar plano modificado la placa de absorción

La modificación de la placa de absorción fue importante, sobre todo garantizar que no sea tan gruesa para que el calor sea transferido al fluido caloportador, por ello se disminuyó el espesor de la placa de absorción mejorando la transferencia de calor y permitiendo obtener una máxima temperatura de 61.04°C en el agua del circuito.

Figura 103

Temperatura de la simulación 4 alcanzada por el agua



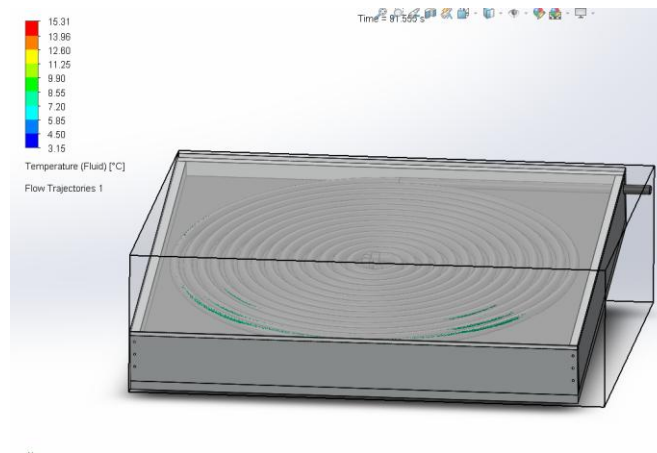
Elaboración propia SOLIDWORKS

Simulación 5: Colector solar plano con mangueras circulares

Este colector tiene una entrada y una salida, es de flujo continuo, el agua tiene la velocidad del suministro, la cual no es la suficiente para moverse a lo largo de todo el colector solar, la inclinación del colector y las curvaturas dificultaron el movimiento, además la manguera de la cual estaba constituido en la simulación, no tuvo las características térmicas necesarias para alcanzar una temperatura lo suficientemente buena para la aplicación deseada, la temperatura máxima alcanzada fue 15.31°C

Figura 104

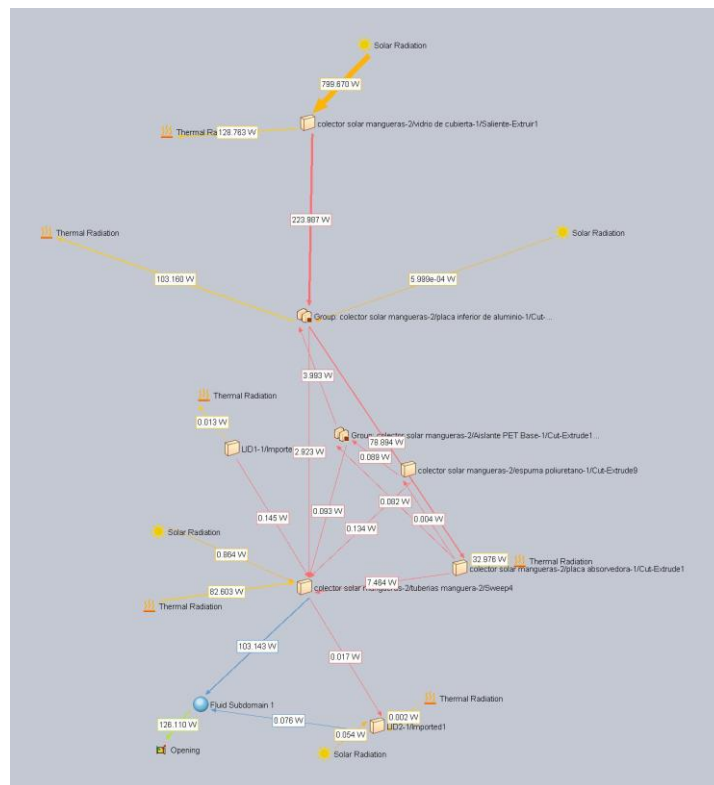
Temperatura máxima del agua en el colector solar circular en la simulación 5



Elaboración propia SOLIDWORKS

Figura 105

Flujo energía entre las partes constituyentes del colector solar de mangueras circulares



Elaboración propia SOLIDWORKS

En la imagen anterior se mostró la transferencia de calor de la radiación solar en el colector de mangueras, la potencia incidente fue de 799.67 W y al llegar al fluido fue de 103.14 W por lo que se calculó la eficiencia del colector solar.

$$n(\text{eficiencia del colector}) = \frac{\text{Potencia irradiación transferida al fluido}}{\text{Potencia irradiación total inicial que llega al colector}} \times 100\%$$

$$n = \frac{103.14}{799.67} \times 100\%$$

$$n = 12.89\%$$

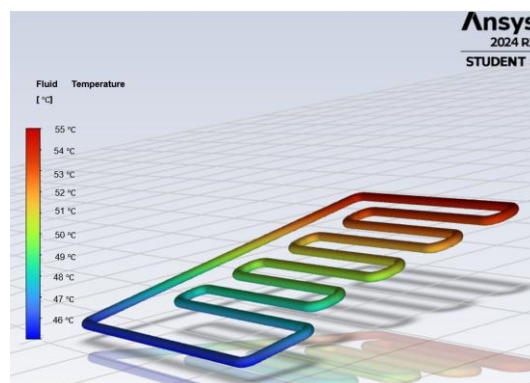
Baja eficiencia energética de este colector solar.

Simulación 6: Colector solar plano con reflectores modificado la placa de absorción en ANSYS Fluent

Solamente el mejor diseño se analizará en ANSYS con la finalidad de verificar los resultados obtenidos, también debido a que ANSYS tiene mejores herramientas para el mallado, permitiendo afinar los resultados en las distintas secciones, además posee modelos de simulación que permiten establecer condiciones de frontera sobre las condiciones exteriores del ambiente y como afectan la transferencia de calor, la temperatura máxima alcanzada tomando en cuenta todas estas condiciones fue de aproximadamente 55 °C.

Figura 106

Máxima temperatura alcanzada por el colector en la simulación en ANSYS



Elaboración propia ANSYS

Implementar el prototipo para probar la temperatura del agua máxima que alcanza bajo diversas circunstancias aplicativas en la comunidad de los páramos.

Se realizó la instalación del prototipo en una vivienda de los páramos andinos (Ver el anexo 2)

Fotografía 5

Colector de materiales reciclados

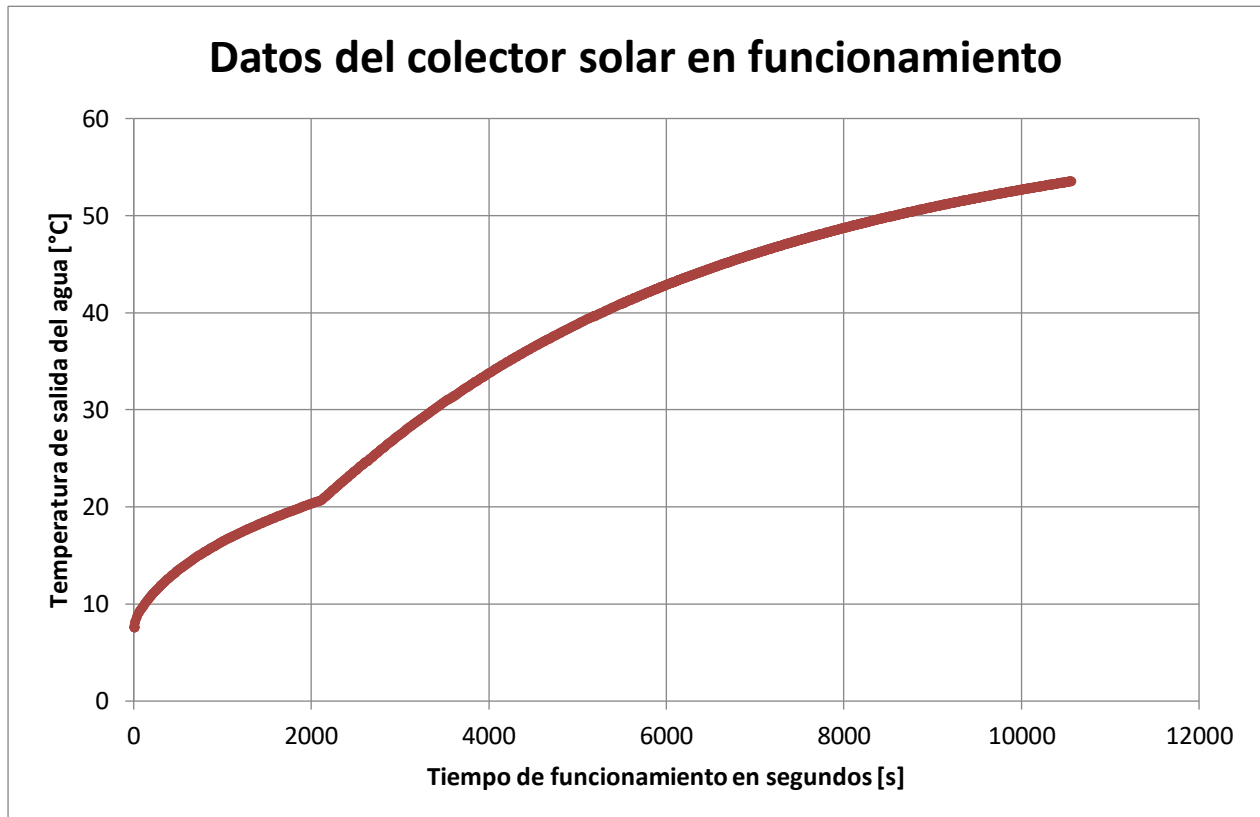


Elaboración propia

Los datos de temperatura en función del tiempo del colector solar en funcionamiento real se muestran en la figura.

Figura 107

Funcionamiento del colector solar reciclado



Elaboración propia en Excel

Evaluar el grado de percepción en desarrollo de la prueba del prototipo realizado a los habitantes de los páramos andinos.

Los resultados arrojados por las encuestas realizadas (Anexo 5) a las familias de los páramos para evaluar el cumplimiento del objetivo se muestran continuación.

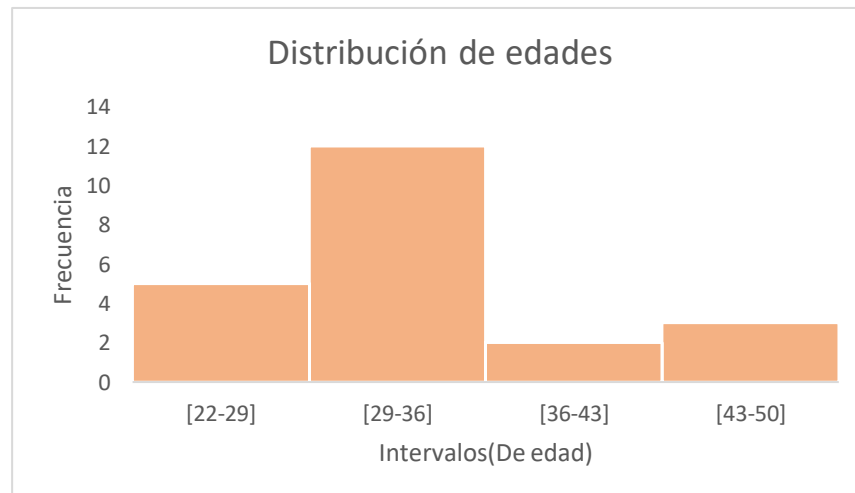
Tabla 12 Tabla de distribución de frecuencias de las edades de los encuestado en la comunidad

Rango de edades	Frecuencia Absoluta
[22-29]	5
[29-36]	12
[36-43]	2
[43-50]	3
Total de familias encuestadas	22

Fuente: Elaboración propia

Figura 108

Histograma de distribución de edades



Elaboración propia

El gráfico indica una importante concentración de encuestados entre las edades de 29 a 36 años, mostrando la relevancia del proyecto a largo plazo para esas jóvenes familias.

Los que fueron encuestado son los representantes que sabían leer, por eso la concentración de las edades son de jóvenes que de uno o de otra manera lograron adquirir esta destreza tan importante.

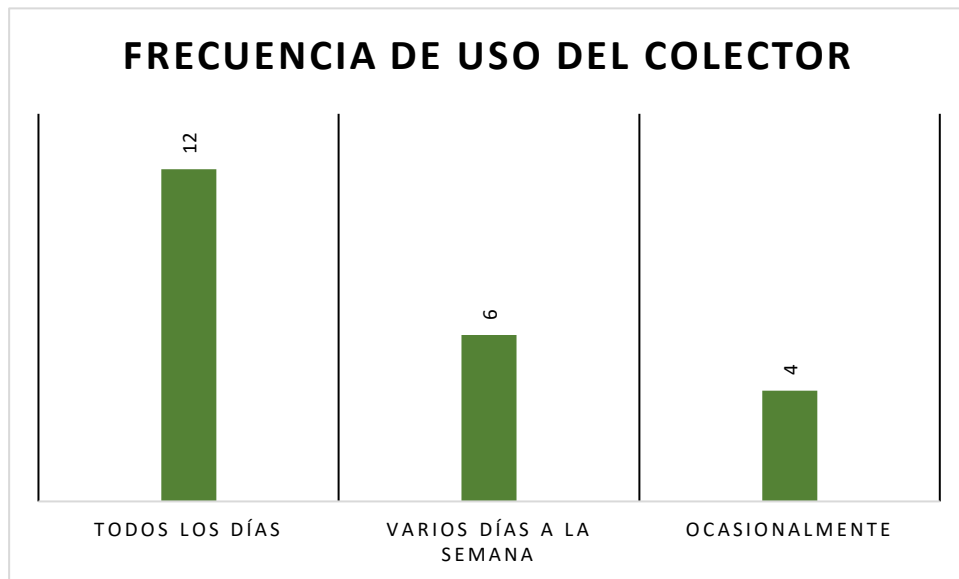
Tabla 13 Tabla de frecuencia de uso del colector

Frecuencia de uso del colector	Número de personas que respondieron
Todos los días	12
Varios días a la semana	6
Ocasionalmente	4

Elaboración propia

Figura 109

Diagrama de días de uso del colector solar

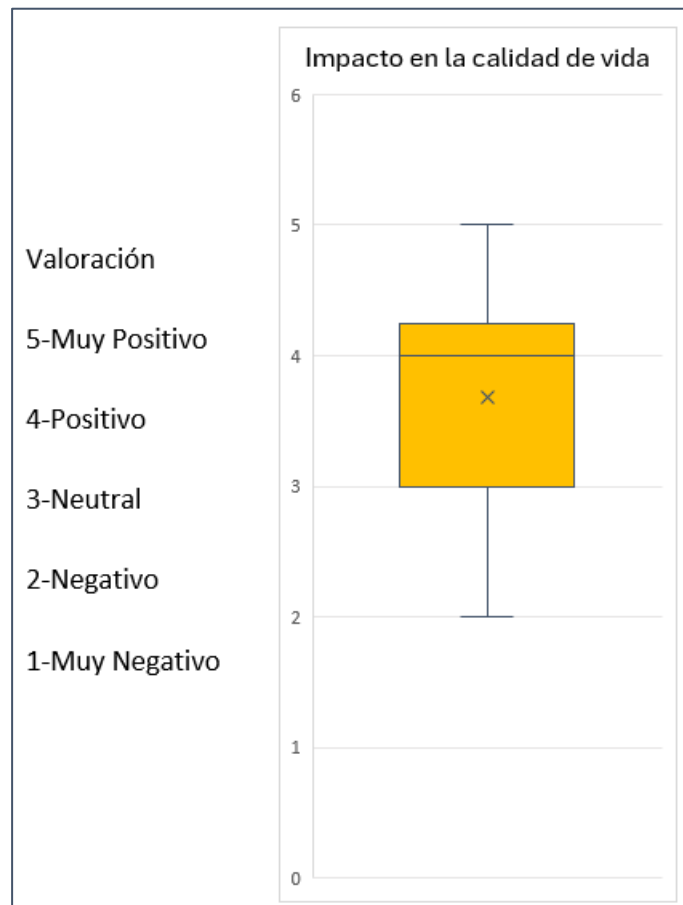


Elaboración propia

La mayoría de encuestados indican que, en el caso de implementarse los colectores solares con materiales reciclados, lo usarían todos los días dado que la energía solar está presente todos los días y no es dependiente como los sistemas tradicionales a gas o electricidad.

Figura 111

Diagrama de caja y bigote del impacto de la calidad de vida

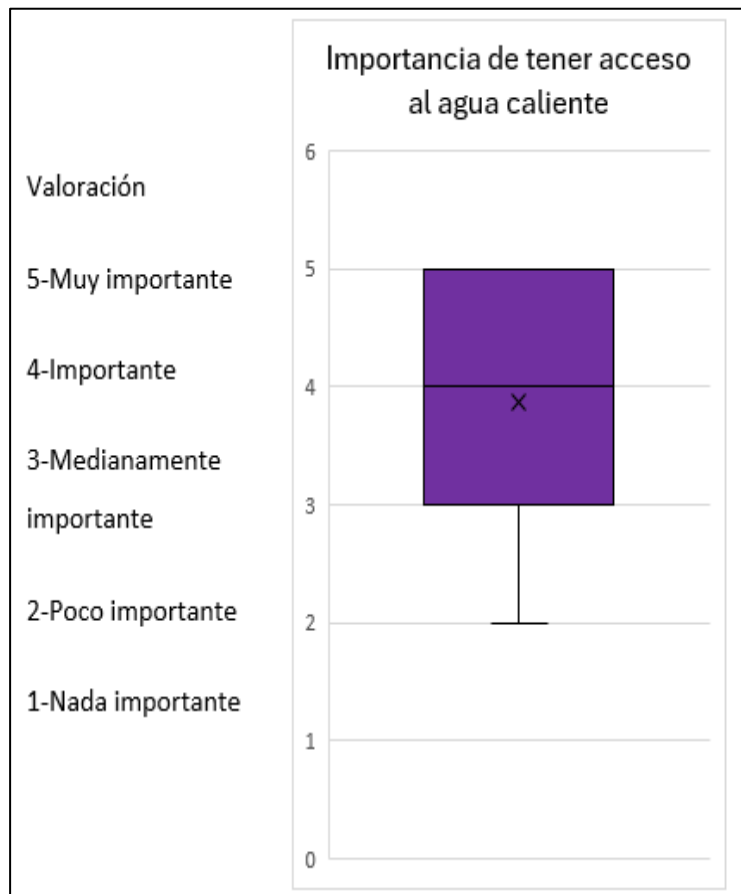


Elaboración propia

La mayoría de las personas tienen una percepción mayoritariamente positiva con la implementación de un prototipo de colector solar, la mediana está sobre 3, lo que sugiere también una valoración positiva, la mayor cantidad de los valores están entre neutral y positivo esto puede deberse a la falta de información sobre el funcionamiento de un colector solar, el significado que no exista bigote superior indica que no hay ningún de los participantes que considere que no es necesario el acceso al agua caliente.

Figura 110

Diagrama de caja y bigote de la importancia de tener acceso al agua caliente



Elaboración propia

Las valoraciones de las personas en el rango intercuartílico se encuentran entre importante y muy importante, la mediana coincide con el nivel 4, lo que supone que en gran medida las personas de los páramos consideran una necesidad indispensable el acceso al agua caliente.

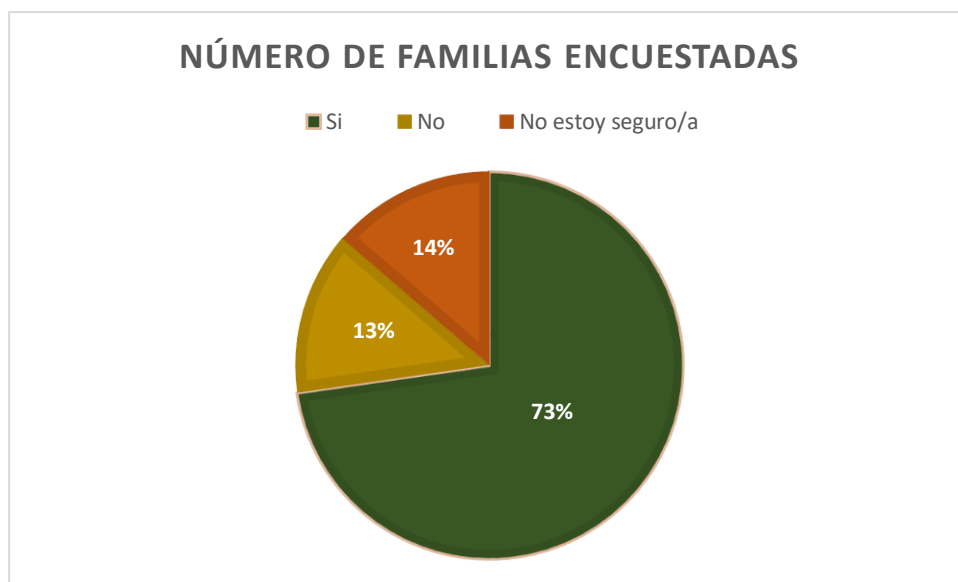
Tabla 14 Opinión sobre la utilización de materiales reciclados en la fabricación de colectores solares

Beneficio de usar materiales de reciclaje	Número de familias encuestadas
Si	16
No	3
No estoy seguro/a	3

Elaboración propia

Figura 112

Porcentaje de familias que considera beneficioso el uso de materiales reciclables en la fabricación de colectores solares



Elaboración propia

CONCLUSIONES

Conclusiones generales del estudio

El minucioso análisis de las características térmicas de los materiales reciclados ha deparado hallazgos de gran valor, particularmente para el diseño prototípico del captador solar enfocado en optimizar la eficiencia de sus componentes, especialmente el aluminio de desecho (perfiles de ventanas de aluminio) y el PET sobresalieron por sus óptimas propiedades para la absorción y aislamiento térmico, correspondientemente; el aluminio por su excelente conductividad térmica está capacitado para transferir eficientemente el calor al fluido en el interior del captador, este dato es un indicador crucial para el rendimiento global del sistema.

Por otro lado, el PET y la espuma de poliuretano, fueron seleccionados como aislantes por sus bajas conductividades térmicas, la cual permitió demostrar sus adecuadas características aislantes, lo que permitió la reducción del calor perdido por sistema, brindaron la contención necesaria de calor en el interior del colector, de esa forma se aseguró la energía térmica conservada de manera efectiva para que el agua suba la temperatura, la función principal de estos materiales seleccionados fue impedir la transferencia innecesaria de calor hacia otros componentes, lo que aumenta el rendimiento del colector.

Indudablemente, el vidrio reciclado de antiguas ventanas empleado como cubierta probó mantener un equilibrio idóneo entre transmitancia térmica y minoración de pérdidas por reflexión, este material admitió el ingreso de una cantidad significativa de radiación solar mientras disminuía las pérdidas energéticas por convección, impidiendo sustancialmente la interacción directa del fluido con el ambiente.

La cohesión de tales componentes demuestra que la viabilidad técnica de aprovechar las características de materiales reutilizados es factible, reduciendo de este modo el consumo excesivo de recursos y mitigando asimismo el efecto adverso sobre el ambiente.

El comportamiento del aluminio ante las variadas condiciones del ambiente de los páramos, sin tener un cambio significativo en su capacidad operativa, esto unido a la estabilidad térmica y química del PET, se traduce en que el colector pueda funcionar bajo distintas situaciones del medio.

En la primera simulación que se realizó con SolidWorks , se evidenció una correcta interacción entre el aluminio reciclado empleado para los perfiles estructurales y la cubierta de vidrio reciclado, considerando que la temperatura de inicio a la que se encontraba el agua era de 7.6 °C, una temperatura muy baja como para realizar actividades cotidianas, conforme se desarrolló la simulación la máxima temperatura alcanzada fue de 21.49 °C, es decir un incremento de 13.89 °C, este incremento indica que el colector cumplía con la función de incrementar la temperatura del agua, la eficiencia del colector calculada en función de la potencia de irradiación inicial, comparada con la entregada al fluido fue de 51.24 %, el programa mostro valiosos datos iniciales en la simulación de dinámica de fluidos y transferencias de calor, dichos datos permitieron identificar el comportamiento de la energía térmica con los componentes constituyentes del colector solar y de esta manera tomar acciones para optimizarlo.

La incorporación de reflectores para concentrar mayor energía térmica sobre la tubería provocó un aumento en la temperatura máxima alcanzada por el agua en el colector, llegando a un valor de 28,69 °C, lo que mejoró la eficiencia del sistema hasta un 66,1%, debido a las propiedades térmicas y ópticas del papel aluminio, esenciales para direccionar y enfocar una gran cantidad de energía hacia la zona requerida, en dos simulaciones se supuso que el agua se mantiene en movimiento, es decir, tiene una entrada y una salida, por lo que la circulación del agua también influye en la temperatura obtenida.

Tomando en cuenta la importancia que tiene el tiempo que el agua permanece expuesto a la radiación solar, se propuso que el colector para la simulación 3 es uno de efecto termosifón, es decir la cantidad de agua en el colector no cambia y de esa manera permanecerá todo el tiempo en contacto con la energía térmica lo que involucra alcanzar mayores temperaturas, el incremento en esta simulación es notable llegando a que la

máxima temperatura alcanzada por el agua sea de 51.51 °C, esta temperatura luego será transferida al agua que estará el circuito de consumo, de las investigaciones mencionadas en esta tesis las temperatura que debe tener el circuito primario para llegar a una temperatura de confort en el circuito de consumo debe ser de alrededor de 55 a 65 °C, puesto que en el proceso de transferencia de calor del circuito primario al circuito de consumo existirán pérdidas de calor, por esto se centraron todos los esfuerzos hasta que la temperatura del circuito primario alcance una temperatura similar a la mencionada.

Teniendo como referencia la temperatura a la que se pretende alcanzar en la simulación 4, se realizó otra modificación geométrica pero esta vez se enfocó en el espesor de la placa absorbidora de aluminio, para optimizar la energía térmica entregada al agua, el espesor es importante, pues valor excesivo puede involucrar un desperdicio de energía al intentar calentar mucho más material del cual es necesario, en lugar de calentar el agua que es el propósito principal, explorar esta modificación permitió alcanzar una temperatura de 61 °C, temperatura cercana a la de los colectores comerciales, la dificultad geométrica de prototipo simulado en SolidWorks y las limitaciones del programa en cuanto a las condiciones del ambiente y sobre todo el mallado, mostraron la necesidad de soportarse con otro software de simulación especializado en técnicas de mallado para dinámica de fluidos computacional como ANSYS Fluent.

Previamente antes de realizar el modelo de prototipo en la simulación 4 en ANSYS, se experimentó con otro prototipo realizado de mangueras circulares, el cual no fue suficiente ni presentó una eficacia térmica relevante con respecto a los anteriores modelos simulados.

La última simulación (simulación 6), desarrollada en ANSYS Fluent para pulir los resultados obtenidos en la simulación 4, permitió realizar un mallado independiente de cada uno de los componentes del colector, permitiendo el uso correcto del programa en la aplicación de las ecuaciones del método de volúmenes finitos, realizando cálculos más precisos, en las zonas requeridas, estableciendo también las condiciones ambientales de una manera más detallada y lo más acercada a las condiciones operativas a las que se verá expuesto el prototipo, las opciones de modelos avanzados de radiación solar que

tiene el programa garantizan un correcto cálculo matemático, en esta simulación de alcanzó una temperatura de 55 °C, este resultado valida las simulaciones del otro programa en cuanto al cumplimiento de los componentes constituyentes del colector y también toma en cuenta las condiciones operativas del colector.

Estos modelos avanzados de radiación de ANSYS Fluent, facilitaron la inclusión de propiedades ópticas y térmicas, de las partes del colector, así también como interactúan entre sí cada componente en sus uniones, propiedades como absorción, transmisión y reflexión fueron plenamente establecidas, ofreciendo insights que facilitan el cómo maximizar la captación de energía solar, la evaluación a detalle de los gradientes de temperatura y las tasas de flujo en las diferentes zonas del colector, hizo posible identificar las áreas de control.

Simular inicialmente en SolidWorks ayudo a establecer la forma geométrica más eficiente, además que el programa permite dibujar de una manera más fácil cualquier tipo de forma geométrica, y este modelo se utilizó posteriormente en ANSYS importándole de programa a programa, con ANSYS, se evaluó de manera más efectiva las interacciones internas y externas del colector con un mallado diferenciado y de alto nivel que SolidWorks no dispone, adaptándose a esas geometrías complejas y la necesidad del análisis.

El prototipo implementado en una vivienda de las comunidades de los páramos alcanzo una temperatura máxima de 53.8 °C, casi dos grados por debajo de las simulaciones realizados una variación que no es tan significativa considerando las condiciones climáticas en las que se realizó la prueba la implementación valida los resultados obtenidos en las simulaciones y las cuales fueron importantes en la toma de decisiones previo a la construcción.

La opinión generalizada de la comunidad respecto a la implementación del innovador captador solar construido con materiales reutilizados demuestra un sólido apoyo hacia la utilización de esta forma de construcción ecológica y benefactora para sus actividades diarias. El análisis indica que lo consideran como una alternativa para mejorar sustancialmente sus condiciones de vida; sin embargo, la deficiente concientización y

conocimiento sobre estas nuevas tecnologías impidió que un porcentaje de los pobladores identificaran las bondades y soluciones que aportarían a la comunidad.

Conclusiones personales del investigador

Este largo camino de experimentación e innovación continuó buscando desarrollar un prototipo de panel solar hecho de residuos reciclados que pudiera mejorar las condiciones de vida de las comunidades campesinas de las regiones andinas ecuatorianas. Representó un esfuerzo que requirió tanto ingenio intelectual como pasión humana, entendiendo la importancia de que la reutilización de recursos desechados puede ayudar a otros grupos que históricamente han sido excluidos a tener mayores posibilidades y, asimismo, reducir el impacto ambiental.

Me enfoqué en demostrar que una construcción sustentable es viable. Personalmente, encontré gran satisfacción en haber asumido este desafío de transformar materiales considerados basura en tecnología accesible y resolver uno de los problemas de un pequeño colectivo social.

El conocimiento de las dos herramientas tecnológicas de simulación utilizadas y sus ventajas de una con respecto a la otra me ayudaron a optimizar el prototipo y a sacar ventaja de las propiedades de los materiales y a identificar la geometría más adecuada.

Un hallazgo relevante fue que, a pesar del progreso tecnológico, la reutilización de insumos se halla en una etapa temprana, por lo que urge la innovación y el compromiso investigativo para crear proyectos que incorporen en gran medida materiales recuperados.

La mayoría de los materiales que son desechados han sufrido procesos de cambios físicos es decir que en su estructura interna no han cambiado sus propiedades mecánicas ni térmicas por lo que son candidatos a ser reutilizados pues no se evidencia un cambio significativo con respecto a un material nuevo.

RECOMENDACIONES

Evaluación de Nuevos Materiales Reciclados:

En investigaciones posteriores sería importante la evaluación de una mayor cantidad de materiales reciclables sus propiedades posibles aplicaciones, la caracterización de los materiales reciclables puede significar ventaja competitiva de una empresa que lo hace y otra que pues necesitaría menos materia prima nueva y también estaría apuntado a un sector cada vez más grande de consumidores con conciencia ecológica que ven de una manera a las empresas que reutilizan materiales.

Optimización del Diseño de Colectores Solares:

El diseño de los colectores solares puede ser optimizado de varias maneras, como contemplando desde la recolección de los materiales, experimentar diferentes formas geométricas, la combinación de materiales, principalmente en el transcurso del diseño asistido hasta el día de hoy que se hace, sobre hacer uso de herramientas de programación más avanzada para la simulación y la toma de decisiones.

Estudios a Largo Plazo sobre Durabilidad y Mantenimiento:

Estudiar la durabilidad de cada componente y su conjunto para determinar su vida útil y como estos se comportan bajo las diferentes situaciones y exigencias ambientales, evaluar su complejidad de mantenimiento tanto preventivo como correctivo, establecer periódicamente su rendimiento.

Desarrollo de Políticas y Marcos Regulatorios:

Si bien esta recomendación no siempre queda tan en manos de los investigadores como en los gobernantes, es importante trabajar en políticas o marcos regulatorios que incentiven el uso de materiales reciclados o energías renovables y que hayan incentivos para que la gente investigue sobre eso, que facilite que el consumidor o las empresas inviertan en la tecnología

REFERENCIAS

- Aaron, A. B., Danyon, M. F., Charlotte, M. W., Kathryn, L. B., & Lawrence, R. S. (2022). Highly Versatile Strategy for the Production of Telechelic Polyolefins. *ACS Macro Letters*, 11(3), 402-409. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/acsmacrolett.2c00108>
- Abdelsalam, T. (2023). *Energía solar térmica concentrada a temperatura ultraalta*. [Tesis doctoral, Universidad de Edimburgo]. doi:<https://doi.org/10.7488/era/3442>
- Abreu, D. (2022). *Inteligencia Artificial como Estrategia en la Predicción de la Conductividad Térmica en Compuestos de Polipropileno/Nanotubos de Carbono*. [Tesis maestria. Centro de Investigación en Química Aplicada]. Retrieved from <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/720/1/Tesis%20MTP%20Daniela%20A.%20Abreu%20Caceres.pdf>
- Acosta, J., & Gámez, M. (2021). Acosta, J. J. S., & Gámez, M. R. (2021). Sistema fotovoltaico conectado a red para disminuir la demanda energética en horario diurno en una vivienda de la comunidad Cañales. *Dominio de las ciencias*, 7(6). Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383756>
- Adanta, D., Fattah, I., & Muhammad, N. (2020). *Comparación del modelo estándar de turbulencia k-epsilon y SST k-omega para la simulación de la rueda hidráulica de mama*. Revista de ciencias Mecánica e Ingeniería. Retrieved from <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/159275/2/11392-29988-1-PB%20%282%29.pdf>
- Aguilar, J. (2020). *Review: determinación de los parámetros cinéticos del bagazo de caña utilizando análisis termogravimétrico (TGA)*. Universidad de los Andes. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1992/51600>
- Almeida, M., Almeida, S., Rodríguez, C., & Kowii, A. (2023). Economía comunitaria y circular, conocimiento ancestral andino. Caso Warmikuna NATABUELA. *Estudios*

De La Gestión: Revista Internacional De Administración, 14, 127-153.
doi:<https://doi.org/10.32719/25506641.2023.14.4>

Alpsten, F. (2021). *Alternative Plastic Materials for Increased Sustainability of Husqvarna K770*. [Tesis doctoral. Chalmers University of Technology]. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12380/302700>

Al-Shail, K. (2020). *Analysis of Solar Energy in Desalination Plants in Saudi Arabia*. [Tesis doctoral. Universidad de Granada]. Retrieved from <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/63503/63326.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Andrés Anaya, P. (2024). *MULTIPLATFORM REMOTE SENSING IN THE RADIATIVE*. [Tesis doctoral. Universidad de Salamanca]. Retrieved from <https://gredos.usal.es/handle/10366/159818>

Aquima, W., & Carlos, D. (2022). *Diseño y construcción de un horno de crisol basculante a gas natural para fusión de aluminio*. [Tesis de Grado. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. Retrieved from <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6508>

Aragón, J. (2023). New routes for functionalised nanoparticles for polymer nanocomposites. *ESTUDIO DE LA MODIFICACIÓN QUÍMICA DE PARTÍCULAS DE SARGAZO PARA USO*. [Tesis Maestria. Instituto Tecnológico de ciudad de madero], México. Retrieved from http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/7067/1/G21073001_donacion_tesis_bib.pdf

Aranzaes Sánchez, M. (2020). La energía renovable en Ecuador. *Diseño de ecocubiertas en material plástico reciclado reforzado con fibra*, 8, 29. Retrieved from https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=De+cero+a+dinero%3A+La+basura+como+fuentes+principales+para+un+negocio+inclusivo+de+reciclaje+en+Cuenca+%28Ecuador%29&btnG=#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3A%2Fscholar.google.com%2F%26output

- Arboleda, P. (2023). *Evolución térmica y fases cristalinas de vidrios de fosfatos de óxido de hierro con uranio y sinterización vía fase líquida de óxidos de uranio*. [Tesis doctorado. Universidad Nacional de Cuyo], Argentina. Retrieved from https://ricabib.cab.cnea.gov.ar/1226/1/1Arboleda_Zuluaga.pdf
- Arkadiusz, Bińkowska, W., Wojtasik-Kalinowska, I., Mustafa Salih, S., & Póltorak, A. (2023). Application of computational fluid dynamics simulations in food industry. *Eur Food Res Technol*, 249, 1411-1430. doi:<https://doi.org/10.1007/s00217-023-04231-y>
- Aulestia, C. (2020). *Modelación numérica en tres dimensiones de flujo en las compuertas de la captación del proyecto Toachi-Pilatón aplicando dinámica de fluidos computacional (CFD)*. [Tesis de Maestría. Escuela Politecnica Nacional]. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17482/3/CD-7982.pdf>
- Bailo Bobi, E. (2022). *Procesos innovadores basados en rutas químicas para tecnologías fotovoltaicas de capa fina de bajo coste y alta eficiencia*. [Tesis doctoral, Universitat de Barcelona], España. Retrieved from <https://www.tesisenred.net/handle/10803/674608#page=1>
- Balbín, M. (2022). *Caracterización espectral mediante espectroscopía puntal de variedades de patatas*. [Tesis de grado, Universidad de Cantabria]. Retrieved from <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/24623/440617.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Basuhi Ravi. (2024). *Quantifying barriers to recycling plastic packaging in the United States*. [Tesis Doctoral, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY]. Retrieved from <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/153720/ravi-basuhi-phd-dmse-2024-thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bessa dos Reis de Freitas, J. G. (2023). *ESTUDIO Y MODELADO DE LAS PÉRDIDAS POR SUCIEDAD EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS MEDIANTE EL USO DE PARÁMETROS AMBIENTALES*. [Tesis doctoral. Universidad de Jaén]. Retrieved from <https://ruja.ujaen.es/handle/10953/2265>

Blair, N., Beckman, W., & Duffie, J. (2020). *Solar Engineering of thermal processes, Photovoltaics and Wind*. United Kingdom: Wiley.

Bubnoff, D. (2022). Evaluación de la dilatometría y la resistencia a la corrosión del acero inoxidable superdúplex saf 2507. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 26(2), 37-45. Retrieved from <https://www.uned.es/universidad/dam/facultades/industriales/RIBIM/V26N2Octubre2022/V26N2-2022-A04.pdf>

Cabañas, R. (2020). *Corrosion evaluation of molten salts thermal energy storage (TES) systems in concentrated solar power plants (CSP)*. [Tesis doctoral, Universitat de Lleida]. Retrieved from <https://www.tdx.cat/handle/10803/671680#page=1>

Candadai, A. (2021). *Thermal metrology and characterization of high thermal conductivity polymer fibers and fabrics*. [Tesis doctoral. Purdue University. Retrieved from <https://doi.org/10.25394/pgs.14191310.v1>

Cantú-Fernández, D. S., Taha-Tijerina, J. J., González, A., Hernández, P. G., & Quinn, B. (2024). Mechanical Properties of a Structural Component Processed in High-Pressure Die Casting (HPDC) with a Non-Heat-Treated Aluminum Alloy. *Metals*, 14(3). doi:<https://doi.org/10.3390/met14030369>

Castán, F. (2021). *Estudio de los rellenos geotérmicos. Diseño, construcción, validación y calibración de un equipo para la medida de la conductividad térmica y desarrollo de un mortero geotérmico*. [Tesis Doctoral, Universidad de Oviedo]. Retrieved from https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/64467/TD_CarlosCastanFernandez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Castells, B. (2021). *Caracterización de inflamabilidad de biocombustibles y materiales con recuperación energética*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Retrieved from <https://oa.upm.es/68110/>

Cervantes, E. (2020). *Estudio de propiedades fotoluminiscentes del sistema CdO-V2O5-P2O5:Er3+:Yb3+:Ce3+*. [Tesis Doctorado, Benemérita Universidad Autónoma de

Puebla]. Retrieved from
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/d0796c2e-4aaa-47af-bf6c-6378368bf55d/content>

Cetina, A. (2019). *Modelación de un colector solar plano integrado con materiales de cambio de fase*. [Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán]. Repositorio de la Universidad Autónoma de Yucatán.

Chávez, J., Davis, R., & Sparks, T. (2023). Analysis of Thermal Expansion via Dilatometry. *Journal of Visualized Experiments (JoVE)*. Retrieved from <https://app.jove.com/t/10490>

Chisaguano, R., & Valdivieso, A. (2021). *Diseño y construcción de un prototipo de colector solar para el calentamiento de agua con materiales reciclables para una vivienda*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca], Ecuador . Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20200>

Cisneros, D. (2018). *Propuesta de gestión de residuos municipales para la ciudad de Ambato*. [Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Cataluña]. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/125991/TFM%20DCisneros.pdf>

Contreras Castellanos, E. (2021). *DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN ANÁLISIS TÉCNICO, AMBIENTAL Y FINANCIERO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE UN PROYECTO SOLAR TÉRMICO Y SU INCORPORACIÓN EN EL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE GUATEMALA*. [Tesis Doctoral, Universidad de San Carlos de Guatemala], Guatemala. Retrieved from <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18965/1/Elviramar%C3%ADa%20Castellanos%20Contreras.pdf>

CorralRosales. (2024). *Ley Orgánica para Impulsar la Iniciativa Privada en Generación de Energías*. Retrieved from <https://corralrosales.com/ley-para-impulsar-la-iniciativa-privada-en-generacion-de->

energias/#:~:text=7,almacenamiento%20y%20redes%20de%20interconexi%C3%B3n

Cruces, L. (2023). *Estudio de la fotoluminiscencia de monocapas y bicapas de SRO Y SICXOY OBTENIDAS POR LA TÉCNICA HFCVD*. [Tesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Retrieved from <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/a6a5aa22-efc1-446f-8795-b546164deb57/content>

Dammert, A., & García, R. (2020). *Economía de la energía*. Fondo Editoria de la PUCP. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=0n3ZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT13&dq=cantidad+de+personas+que+no+tienen+acceso+a+la+energ%C3%ADa&ots=2iXZsBR-Nm&sig=xN6WAY3BEt2c-76y4CgOJIK9yOl#v=onepage&q=cantidad%20de%20personas%20que%20no%20tienen%20acceso%20a%20la>

De la Industria, A. (2020). *Térmica "Guía Técnica de Energía Solar Térmica"*. Madrid, *Guía*. Retrieved from https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/guiasolartermica_idae-asit_v3.0_20210111_nipo.pdf

De Viteri, L., & Benítez, A. (2021). Estudio comparativo sobre el comportamiento mecánico del concreto con fibra de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibra de acero. *Dominio de las Ciencias*, 7(5), 798-818. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383807>

Dentons. (2023). *Reglamento General a la Ley Orgánica de Economía Circular Inclusiva*. Retrieved from <https://www.dentons.com/es/insights/articles/2023/august/30/reglamento-general-a-la-ley-organica-de-economia-circular-inclusiva#:~:text=,incorporar%20el%20trabajo%20de%20los>

Díaz Andagana, J. (2020). *Participación comunitaria en la gestión de páramos en el marco del "Fondo de páramos lucha contra la pobreza" en la provincia de Tungurahua, parroquia Pasa*. [Universidad Politécnica Salesiana, Tesis de grado], Quito, Ecuador. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19106>

Díaz, A., Hernández, A., Quiñonez, J., Ortiz, G., & López, F. (2021). HD20: APARATO DE PLACA CALIENTE CON GUARDA PARA LA MEDICION DE LAS PROPIEDADES DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION EN HORMIGONES. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 47, 49-57. Retrieved from https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/171123/CONICET_Digital_Nro.ab90299d-2cf0-44aa-b760-82ca6a25b2c5_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Durand, M., Murchie, E. H., Lindfors, A. V., Urban, O., Aphalo, P. J., & Robson, T. M. (2021). Diffuse solar radiation and canopy photosynthesis in a changing environment. *Diffuse solar radiation and canopy photosynthesis in a changing environment*, 311, 108684. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108684>

Elshamy, A. (2020). *Investigar el potencial para implementar sistemas de enfriamiento solar térmico y medidas de eficiencia energética para viviendas en Egipto*. [Tesis doctoral, Universidad de Loughborough. doi:<https://doi.org/10.26174/thesis.lboro.13721494.v1>

Enrique, M., Arturo, C., Manuel, A., & Israel, R. (2022, Octubre). Implementación del método del volumen finito para la solución de las ecuaciones de navier-stokes para flujo de poisuille en régimen laminar incompresible. *Revista Electro*, 44, 140-144. Retrieved from https://itchihuahua.mx/revista_electro/2022/SUB-7592.html

Eras-Almeida, A., Fernández, M., Eisman, J., Martín, J. G., Caamaño, E., & Egido-Aguilera, M. A. (2019). Lessons Learned from Rural Electrification Experiences with Third Generation Solar Home Systems in Latin America: Case Studies in Peru,

Mexico, and Bolivia. *Sustainability*, 11(24), 7139.
doi:<https://doi.org/10.3390/su11247139>

Espín, J. (2022). *Reutilización de desechos de vidrio, previo al proceso de templado, para el diseño de productos*. [Tesis de grado, Pontifica Universidad Católica del Ecuador], Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/3490>

Fantinelli, J. (2006). *Análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar de agua para habitações populares : estudo de caso em Contagem - MG*. [Tesis de Doctorado, UNICAMP], Brasil. Retrieved from <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/366115>

Feron, S., Cordero, R. R., & Labbe, F. (2017). Rural Electrification Efforts Based on Off-Grid Photovoltaic Systems in the Andean Region: Comparative Assessment of Their Sustainability. *Sustainability*, 9(10), 1825.
doi:<https://doi.org/10.3390/SU9101825>

Fuente, M., & Álvarez, M. (2004). Modelos de electrificación rural dispersa mediante energías renovables en América Latina: un planteo alternativo basado en el desarrollo rural. *Cuaderno Urbano*, 4(4). doi:<https://doi.org/10.30972/crn.441049>

Fuertes Taticuán, K. (2020). *Optimización en las fases de separación en la fuente, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos en el cantón San Pedro de Huaca*. [Escuela Politecnica Nacional, tesis de grado], Quito, Ecuador. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21210>

Galve, J. (2021). *Evaluación del impacto ambiental del proceso de reciclado de materiales plásticos*. [Tesis Doctoral]. Universidad de Zaragoza, España. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=304698>

García, L., Gil, A., Navarro, R., & Quintero, P. (2020). *Mecánica de fluidos computacional: tipos de mallas y calidad del mallado*. Universitat Politècnica de Valencia, España. Retrieved from

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/146219/Garc%C3%ADa-Cuevas%3BGil%3BNavarro%20-%20Mec%C3%A1nica%20de%20fluidos%20computacional%3A%20tipos%20de%20mallas%20y%20calidad%20del%20mall....pdf?sequence=1>

Giannetti, F. (2020). *Energías sustentables: Colector solar basado en*. [Tesis de maestría. Universidad Nacional de Mar del Plata]. Retrieved from <https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/429/FGIannetti-TFG-IMe-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gigante, L. C., & Furtado, A. T. (2024). Energia solar térmica no Brasil: sistema de inovação e políticas de ciência, tecnologia e inovação. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(4), e74793. doi:<https://doi.org/10.34188/bjaerv7n4-066>

Gobierno de Ecuador. (2022). *Censo Ecuador*. Retrieved from Resultado del censo: <https://www.censoecuador.gob.ec/resultados-censo/>

Gobierno Municipal del Cantón Quero. (n.d.). *Gobierno Municipal del Catón Quero*. Retrieved from <https://www.quero.gob.ec/division-politica/>

Godinez, F., Espinoza, M., Medina, J., Gamero, E., Martínez, J., & Guerrero, R. (2023). Modelo de mejora de la eficiencia energética en inmuebles en inmuebles de uso residencial en la provincia de Almería (Zona Climática A4). *Revista Aristas Ciencia Básica y Aplicada*. Retrieved from http://revistaaristas.tij.uabc.mx/index.php/revista_aristas/article/view/263

Gomes, J. (2021). *Development of Concentrating Photovoltaic-Thermal Solar Collectors*. [Tesis doctoral, University of Gävle]. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1535513/FULLTEXT01.pdf>

González de Arrieta, I. (2020). *High-temperature infrared emissivity of materials for alternative energy applications*. [Tesis doctoral. Euskal Herriko Unibertsitatea/ Universidad del País Vasco]. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10810/50263>

González, L. (2021). *Alternativas de aprovechamiento de los residuos agroindustriales*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from https://www.google.com.ec/books/edition/Alternativas_de_aprovechamiento_de_los_r/hxZsEAAAQBAJ?hl=en&gbpv=0

González, V. (2023). Replanteo de instalaciones solares térmicas. *ENAE028. Sain: IC Editorial*. Retrieved from https://www.google.com.ec/books/edition/Replanteo_de_instalaciones_solares_t%C3%A9rmicas/s1YpEAAAQBAJ?hl=en&gbpv=0

Guilera, L., & Garrell, A. (2021). *Productos y servicios inteligentes y sostenibles*. Spain: ICG Marge, SL. Retrieved from https://www.google.com.ec/books/edition/Productos_y_servicios_inteligentes_y_sostenibles/bdkZEAAAQBAJ?hl=en&gbpv=1&dq=ciclo+de+vida+de+un+material+reciclado&pg=PA170&printsec=frontcover

Gustafsson, E. (2022). *Verification of the fluid dynamics modules of the multiphysics simulation framework MOOSE: A work to test a candidate software for molten salt reactor analysis*. [Tesis doctorado. Uppsala University]. Retrieved from <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-472909>

Hayat, M. A. (2023). *Novel Nano-Enhanced Phase Change Materials for Thermal Energy Storage Applications*. [Tesis doctoral, University of Hertfordshire]. Retrieved from <https://uhra.herts.ac.uk/handle/2299/28797>

Hernández, J. (2020). *Uso de aditivos sostenibles en la estabilización térmica del polipropileno en su proceso de síntesis*. [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València]. Retrieved from <https://riUNET.upv.es/bitstream/handle/10251/111841/Hern%C3%A1ndez%20-%20USO%20DE%20ADITIVOS%20SOSTENIBLES%20EN%20LA%20ESTABILIZACI%C3%93N%20T%C3%89RMICA%20DEL%20POLIPROPILENO%20EN%20SU%20PROC....pdf>

Hofstede, R., Mena-Vázquez, P., & Suárez Robalino, E. (2023). *Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro*. USFQ PRESS. Retrieved from <https://libros.usfq.edu.ec/index.php/usfqpress/catalog/view/32/67/177>

Hunter, J. (2021). *Extraction of Micro-and Nano-Plastic Particles from Water Using Hydrophobic Natural Deep Eutectic Solvents*. [Tesis de Maestría. University of Kentucky]. Retrieved from https://uknowledge.uky.edu/bae_etds/83 ; https://uknowledge.uky.edu/context/bae_etds/article/1086/viewcontent/hunter_jameson_thesis_revised_2.pdf

Izarra, I. (2021). *Desarrollo de polioles poliéter poliméricos para producir espumas flexibles de poliuretano con propiedades mejoradas*. [Tesis doctoral, Universidad de Castilla], Ciudad Real. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=310493>

Javadi, H. (2024). *Experimental and Numerical Study of the Thermo-Fluid Dynamics of Borehole Heat Exchangers Incorporating Advanced Materials to be Optimized for use as Thermal Energy Storage (BTES)*. [Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Valencia]. Retrieved from <http://search.ndltd.org/show.php?id=oai%3Aunion.ndltd.org%3Aupv.es%2Foai%3Aariunet.upv.es%3A10251%2F203144&back=http%3A%2F%2Fsearch.ndltd.org%2Fsearch.php%3Fq%3DStudy%2Bof%2BThermal%2BProperties%2Bof%2BRecycled%2BMaterials%2Bin%2BSolar%2BApplications%2Bphd>

Jiménez-Rojas, E., Pulgarín-Penagos, S., Vásquez-Tuberquia, M. A., Gómez-Jaramillo, C., Granda-Ramírez, C. F., & Hincapié-Mejía, G. (2022). Uso de un solvente verde para la reducción del volumen del poliestireno expandido en un establecimiento educativo. *Revista IngNova*, 1(1), 18-29. doi:<https://doi.org/10.32997/rin-2022-3725>

Kuharat, S. (2021). *Numerical Study of Nanofluid-Based Direct Absorber Solar Collector Systems With Metallic/Carbon Nanoparticles, Multiple Geometries and Multi-Mode Heat Transfer*. [Tesis Doctoral, University of Salford]. Retrieved from

<https://www.proquest.com/openview/21667635c7f95a3e4db5f7e2b3488e2f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>

Kumar Singh, M., & Singh, A. (2022). Thermal characterization of materials using differential scanning calorimeter. *The Textile Institute Book Series*, 201-222. doi:<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823986-5.00006-3>

Laguarda Cirigliano, A. (2021). *Modelado de la irradiancia solar sobre la superficie terrestre*. [Tesis doctoral, Universidad de la Republica Uruguay]. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Agustin-Laguarda/publication/350857653_Modelado_de_la_irradiancia_solar_sobre_la_superficie_terrestre_Modelos_fisicos_e_hibridos_utilizando_informacion_satelital_sobre_la_Pampa_Humeda/links/6076de87a03fca55fe2acfa8/Mod

Lan Gao. (2022). *A Dual Approach For Water Purification Based On Solar Energy. Environmental Engineering*. [Tesis Doctoral, Université Gustave Eiffel]. Retrieved from <https://theses.hal.science/tel-03968927/>

Leiva Padilla, P. (2020). *Materiales Asfálticos Mecanomodificables para la Construcción de Pavimentos Inteligentes*. [Tesis de Doctorado. Universidad de Granada]. Retrieved from <https://digibug.ugr.es/handle/10481/64575>

Lin, J. (2022). *Materiales fototérmicos selectivos espectrales y energía Aplicaciones*. [Tesis doctoral. Universidad de Cincinnati]. Retrieved from http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ucin1668619581721875

Liu, X. (2021). *Design, development and characterisation of a building integrated photovoltaic smart window system for electricity generation and adaptive daylighting control*. [Tesis doctoral. University of Nottingham]. Retrieved from <http://eprints.nottingham.ac.uk/66354/> ; <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.847165>

Livkiss, K. (2020). *Incendios en cavidades de construcción estrechas: dinámica de incendios y Rendimiento de fuego material*. [Tesis doctoral. Universidad de Lund].

Retrieved from <https://lup.lub.lu.se/record/b1267d63-308e-4369-8081-ec39b3fcbcfdf>;
https://portal.research.lu.se/files/75629766/Thesis_Karlis_Livkiss.pdf

Lona, F. (2022). *Diseño y simulación CFD del subsistema de enfriamiento de un sistema fotovoltaico de concentración solar*. Retrieved from <http://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1002/1244>

Luna Jaime, J., Galindo Luna, Y. R., Ramos Sierra, J., Reséndiz Úrzula, U., & Rivera Padilla, E. B. (2024). COCINA SOLAR DE BAJO COSTO UAMI. *Revista de Energías Renovables*, 11(52). doi:<https://doi.org/10.59730/rer.v11n52a2>

Mahmood, H. (2020). *Theoretical Modelling of Components of a Solar Thermal Power Plant for Performance Enhancement*. [Tesis doctoral, Northumbria University]. Retrieved from <https://dl.acm.org/doi/10.5555/AAI28538315>

Martinez Merino, P. (2023). *Nanofluids with optimised thermal properties based on metal chalcogenides with different morphology*. [Tesis doctoral, Universidad de Cádiz]. Retrieved from <https://rodin.uca.es/handle/10498/29235>

Mejía Ochoa, F. J., Rosas Leyva, M. A., & Hernández Salinas, G. (2024). Economía circular en países con economías emergentes: un estudio comparativo. *TERyS*, 3(1). doi:<https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.183>

Mejia, R., Prieto, A., Martínez, A., Contreras, U., & Chávez, A. (2023). Modelado matemático de un colector solar fotovoltaico-térmico híbrido para evaluación del desempeño térmico en Cd. Juárez Chihuahua. *Revista Iberoamericana para Investigación y el Desarrollo Educativo*, 13(26). doi:<https://doi.org/10.23913/ride.v13i26.1526>

Merino, T. (2021). *Síntesis y caracterización por espectroscopia óptica, XRD y TEM de nanopartículas NaGdF₄:Yb³⁺/Er³⁺ luminiscentes por upconversion*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Retrieved from <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/22739>

Michael, H., Jervis, R., Brett, D., & Shearing, P. (2021). Desarrollos en dilatometría para la caracterización de dispositivos electroquímicos. *Baterías y Supercapas*, 4(9), 1378-1396. Retrieved from <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/batt.202100027>

Ministerio del Ambiente, Agua Transición Ecológica. (2020). *Ecuador se convierte en el noveno país en ratificar el Acuerdo de Escazú*. [Boletín de prensa]. Retrieved from <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/10/Estrategia-Nacional-de-Economia-Circular-Inclusivahttps://www.ambiente.gob.ec/ecuador-se-convierte-en-el-noveno-pais-en-ratificar-el-acuerdo-de-escazu/>

Mirabella, F. (2020). *Espectroscopia de reflexión interna: teoría y aplicaciones*. Prensa CRC. Retrieved from https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=4-TzDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=spectroscopy+reflection&ots=-yL6pWZoiX&sig=49LNDVepSftmPESILXKkBmWSkRM&redir_esc=y#v=onepage&q=spectroscopy%20reflection&f=false

Mistry, K. (2021). *Applications of Reflectometry Towards the Development of MEMS Gas Sensors*. [Tesis doctoral, University of Waterloo]. Retrieved from <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/17031>

Muñoz, R., Vásquez, G., Quinteros, L., Artaza, M., Ludeña, A., Previtali, E., & Ponzoni, L. (2021). Diseño y construcción de un dispositivo para medir la conductividad térmica de los materiales de una ecovivienda. *INNOVA UNTREF. Revista Argentina De Ciencia Y Tecnología*, 1(8). Retrieved from <https://revistas.untref.edu.ar/index.php/innova/article/view/1241>

Nanomateriales, M. A. (2022). Aprovechamiento de fuentes naturales y sus beneficios al medio ambiente. *OmniaScience*. Retrieved from https://www.google.com.ec/books/edition/Materiales_Avanzados_y_Nanomateriales_ap/KIhIEAAQBAJ?hl=en&gbpv=1

Naranjo, Martínez, & Subía. (2024). *Nuevo marco normativo para la generación distribuida de energía eléctrica para autoabastecimiento*. Retrieved from

<https://nmslaw.com.ec/blog/2024/10/07/ecuador-generacion-distribuida-energia-electrica-autoabastecimiento/#:~:text=Cambios%20clave%20con%20la%20nueva,regulaci%C3%B3n>

Narvaez, M. (2021). *MÉTODOS ESTOCÁSTICOS PARA LA DESCRIPCIÓN DE TRANSPORTE DE CALOR EN RECEPTORES SOLARES*. [Tesis Mestria, Universidad Nacional Autónoma de México], México. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Manira-Narvaez/publication/357097993_METODOS_ESTOCASTICOS_PARA_LA_DESCRIPCION_DE_TRANSPORTE_DE_CALOR_EN_RECEPTORES_SOLARES/links/61bbd0cd1d88475981f6340c/METODOS-ESTOCASTICOS-PARA-LA-DESCRIPCION-DE-TRANSPORTE-DE-CALOR-

Navarro, J. (2020). *Caracterización del rendimiento de los tubos receptores de tecnología solar termoeléctrica cilindro parabólico*. [Tesis doctoral, Universidad de Sevilla]. Retrieved from <https://idus.us.es/handle/11441/133688>

Ng, H. (2022). *Mechanical Recycling of Flame Retardant-Contaminated Expanded Polystyrene Waste into Structural Materials*. [Tesis doctorado. University of Western Ontario]. Retrieved from <https://ir.lib.uwo.ca/etd/9065> ; https://ir.lib.uwo.ca/context/etd/article/11683/viewcontent/Thesis___Final_submission_copy.pdf

Nieto, A., Basadre, J., & Argüelles, A. (2020). *El envase de polietilentereftalato: su impacto medioambiental y los métodos para su reciclado*. Cuba: Universitaria. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=m-fzDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA2&dq=procesos+de+reciclaje+pet,+recuperaci%C3%B3n+energ%C3%ADa,+reciclaje+biologico,+reciclaje+qu%C3%ADmico+y+reciclaje+mecanico&ots=IkTZryZ3M8&sig=aEzVNLaxU0i5d5GF5zLSOfh7E6k#v=onepage&q>

- Nkor, J. (2021). *Ciclo de vida comparativo y análisis técnico-económico de tecnologías de energía renovable y modelado numérico de tuberías de calor para su aplicación en plantas solares térmicas*. [Tesis doctoral, Universidad de Northumbria]. Retrieved from <https://nrl.northumbria.ac.uk/id/eprint/48238/>; <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.847073>
- Nunes, B., Pinho, I., Cruz Fernandes, J., Almeida, R. M., & Santos, L. F. (2022). Mechanical properties of ion-exchanged alkali aluminosilicate glass. *International Journal of Applied Glass Science*, 14(1), 155-164. doi:<https://doi.org/10.1111/ijag.16595>
- Oberhausen, G., Zhu, Y., & Cooper, D. R. (2022). Reducing the environmental impacts of aluminum extrusion. *Resources, Conservation and Recycling*, 179, 106120. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2075-4701/9/6/660>
- Obi, C. (2023). *Manufacturing and Analysis of PET Bottle Preforms*. [Tesis]. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10.6084/m9.figshare.22596091.v5>
- Ocio, A. (2020). *Integrated Hydrometallurgical process for Paval valorization*. [Tesis doctoral. Universidad del País Vasco]. Retrieved from <https://addi.ehu.es/handle/10810/50532>
- Onigbajumo, A. (2022). *Integration of Concentrated Solar Thermal Energy for Industrial Hydrogen Production*. [Tesis doctoral, Queensland University of Technology]. Retrieved from https://eprints.qut.edu.au/235889/1/Adetunji%2BOnigbajumo_Thesis%281%29.pdf
- Palacio Cano, S. (2024). *The Finite Volume Method in Computational. Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM an Matlab*. [Tesis, Universidad de Cantabria]. Retrieved from <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/33309>
- Pereira Reyes, Á. E. (2022). La lógica de la investigación científica. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 22(44). doi:<https://doi.org/10.18270/rcfc.v22i44.3865>

Perez, D. (2024). *Energía solar térmica. Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. Retrieved from

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bAkFEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT18&dq=elementos+principales+de+una+instalaci%C3%B3n+solar+termica&ots=W8kIMDJMmt&sig=hCej62mWPzYfVSl0LSzWbalfDOc#v=onepage&q=elementos%20principales%20de%20una%20instalaci%C3%B3n%20solar%](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bAkFEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT18&dq=elementos+principales+de+una+instalaci%C3%B3n+solar+termica&ots=W8kIMDJMmt&sig=hCej62mWPzYfVSl0LSzWbalfDOc#v=onepage&q=elementos%20principales%20de%20una%20instalaci%C3%B3n%20solar%20)

Quesada, L. (2021). *Desarrollo de tratamientos térmicos sostenibles para la valorización del plástico procedente de la fracción rechazo de las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos*. [Tesis Doctorado. Universidad de Granada]. Retrieved from

<https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/70727/81239.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Ramírez Román, A., Suárez Álvarez, A., Rodríguez Rodríguez, L., & Chabat Uranga, J. (2020). Artesanal paper manufacturing. *Revista de Ingeniería Industrial*, 4(12), 13-29. Retrieved from

https://www.researchgate.net/profile/Adolfo_Ramirez_Roman2/publication/351384377_Manufactura_artesanal_de_papel/links/60a00d2b299bf147699f0ef3/Manufactura-artesanal-de-papel.pdf

Recent Advances in Electrical Engineering. (2021). *Electronics and Energy: Proceedings of the CIT*. Germany: Springer. Retrieved from

https://www.google.com.ec/books/edition/Recent_Advances_in_Electrical_Engineerin/FDInEAAAQBAJ?hl=en&gbpv=0

Redondo, A. (2022). *Fotoluminiscencia parcial en células fotovoltaicas*. [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid]. Retrieved from

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/58997/TFM-O-60.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reinoza, J. (2021). *Desarrollo de polihípos fotocurables a base de poliacrilatos y estudio de la cinética de fotopolimerización y de sus propiedades térmicas, mecánica y de*

absorción de hidrocarburos. [Tesis Doctoral, Centro de investigación en química aplicada (CIQA)], Saltillo. Retrieved from <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/679/1/Jefferson%20Alberto%20Reinoza%20Davila%20%20-%20Doctorado%20en%20Tecnolog%3%ada%20de%20Pol%3%admeros.pdf>

Ríos, N., Valdés, J., Pineda, H., Daza, M., Pinilla, J., Becerra, D., . . . Sierra, A. (2020). *Introducción a la dinámica computacional de fluidos ICFD) en Ingeniería Química*. Paraguay. Retrieved from https://www.google.com.mx/books/edition/Introducci%C3%B3n_a_la_din%C3%A1mica_computacion/nK9-EAAAQBAJ?hl=en&gbpv=1

Ríspoli, I. A., & Marionatoni, C. A. (2008). *Ríspoli, I.A., & Mariotoni, C.A. (2008). O aquecedor solar brasileiro : teoria e pratica em prol de uma transferencia de tecnologia sustentavel*. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Retrieved from <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-127947/o-aquecedor-solar-brasileiro---teoria-e-pratica-em-prol-de-uma-transferencia-de-tecnologia-sustentavel>

Rodríguez, R. (2022). *Nuevas oportunidades del polietileno*. [Tesis doctoral. Universidad Rey Juan Carlos]. Retrieved from <https://hdl.handle.net/2134/18052>

Rodríguez, P. (2020). *Análisis paramétrico de captadores solares planos*. Estudio de mercado. Retrieved from <https://idus.us.es/handle/11441/103276>

Rojas, A., Manhabosco, T., Santos, I., Melo, V., & Neto, J. (2021). Estudio dilatométrico de aguamarinas de la Mina Tierra Blanza, Sao José de Safira. *Scientia Naturalis*, 3(1). Retrieved from <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/4307>

Rojas, F., Anicama, V., Cruz, C., & Cataño, M. (2023). A computational fluid dynamics (CFD) analysis for implementing an air-jet device to sort Tumbay yellow potatoes. *Información tecnológica*, 34(2), 31-42. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642023000200031>

- Roque, G. (2023). *Modelación empírica de propiedades termofísicas de aceros empleados en la industria energética*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Matanzas]. Retrieved from <https://rein.umcc.cu/bitstream/handle/123456789/2639/DrC23%20Gabriel.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Rua-Ramírez, E. B., Barrera Siabato, A. I., & Gómez Orduz, M. (2017). Analisis tecnico, socioeconomico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1). doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.1853>
- Sadeghi, G. (2022). *Application of a Shape-Stabilized PCM in Direct-Absorption-Storage Solar Collectors Accompanied by Constructing a Large-Scale Solar Simulator*. [Tesis de EngD, Universidad de Twente]. Retrieved from <https://research.utwente.nl/en/publications/application-of-a-shape-stabilized-pcm-in-direct-absorption-storag>
- Sadrehaghighi, I. (2020). Mesh Generation in CFD. *ResearchGate*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/318456955_Mesh_Generation_in_CFD
- Saleem Almawla, A., Mohammed Lateef, A., & Hatem Kamel, A. (2022). Water Flow Simulation with Computational Fluid Dynamics (CFD): a Review Study. *International Review of Civil Engineering*, 13(1). doi:<https://doi.org/10.15866/irece.v13i1.20958>
- Sánchez, C., Caicedo, M., & Rebellón, L. (2023). Recycling of eps foam and demolition wastes in the preparation of ecofriendly render mortars with thermal-acoustic insulation properties. *Materiales de construcción*, 73(351). Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9069199>
- Sangucho , D., Velasco, D., & Viera, L. (2023). Estudio de la conductividad térmica de residuos sólidos dentro de una matriz de yeso, provenientes del proceso de rebajado del cuero en la empresa Curtiduría Tungurahua SA. *Figempa*. Retrieved

from http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2602-84842023000200058&script=sci_abstract&lng=e

Santacruz de León, G., Jacobo Marín, D., & Rodríguez Cárdenas, G. (2022). El acceso a la energía desde la óptica de los derechos humanos Su medición y relación con el acceso a otros derechos elementales en Salta, Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 29(1), 199-226.

Santillán Cevallos, M. (2022). *Diseño y construcción de un prototipo de colector solar plano con materil reciclable para el calentamiento de agua de uso doméstico*. [Tesis de grado, Escuela Politecnica Nacional], Quito, Ecuador. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/22691/1/CD%2012175%20%281%29.pdf>

Santillan, M. (2022). *Diseño y construcción de un prototipo de colector solar plano con material reciclable para calentamiento de agua de uso doméstico*. [Tesis. Escuela Politécnica Nacional]. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22691>

Sareriya , J. (2024). *Solar Thermal Steam Distillation for Essential Oil Production*. [Tesis doctoral, Gujarat Technological University]. Retrieved from [https://s3-ap-southeast-1.amazonaws.com/gtusitecirculars/uploads/Final%20Synopsis%20\(3\)_113438.pdf](https://s3-ap-southeast-1.amazonaws.com/gtusitecirculars/uploads/Final%20Synopsis%20(3)_113438.pdf)

Serra, A. (2021). *Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento*. [Tesis Doctoral, Universidad de Girona]. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=304801>

Seymour, R., & Charlarles, J. (2021). *Pyrolysis of waste plastics and utilisation of the produced oils in diesel engines*. Reverté. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OdMfEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=+utilizado,+su+nombre+es+tereftalato+de+polietileno,+pero+se+lo+conoce+>

m%C3%A1s+como+poli%C3%A9ster,+se+obtienen+por+el+proceso+de+polimerizaci%C3%B3n+de+dos+componentes+esenciales,+

Silva, F. G., & Nemer, L. (2022). Vivienda, sustentabilidad y tecnología en los programas Minha Casa, Minha Vida y Casa Verde e Amarela. 3(9). doi:<https://doi.org/10.17271/rlass.v3i9.3210>

Spirrett, F. (2021). *Investigatipons into glass additive manufacturing by selective laser melting and directed energy deposition*. [Tesis doctoral. University of Nottingham]. Retrieved from <http://eprints.nottingham.ac.uk/66932/> ; <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.847186>

Sreehari Sreekumar. (2023). *Performance Enhancement of Photovoltaic/Thermal System Using Hybrid Nanofluid*. [Tesis Doctoral, Ulster University]. Retrieved from <https://pure.ulster.ac.uk/ws/portalfiles/portal/137746429/2024SreekumarSPhD.pdf>

Tizón, J. M., Becerra, N., Bercebal, D., & Grabowsky, C. P. (2023). Trimpack: Unstructured Triangular Mesh Generation Library. *Mathematical Software*, 1. doi:<https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.02795>

Triana, F. (2021). *Adicion de fibras en aluminio, para construccion de concreto en Cundinamarca*. [Tesis Doctoral, Corporación Universitaria Minuto de Dios], Cundinamarca. Retrieved from <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/12651>

Val de la Fuente, T. (2023). *Técnicas ópticas de caracterización de semiconductores: Microscopía Raman y Fotoluminiscencia. Aplicación a nuevos óxidos para aplicaciones optoelectónicas*. [Tesis de grado, Universidad de Valladolid]. Retrieved from <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/63231/TFG-G6690.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valdivia, C. (2022). *Generación y caracterización de un consorcio bacteriano aerobio que degraden polietileno y polipropileno como alternativa de manejo en CDMX*. [Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional], México. Retrieved from

https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/31068/Carla_Fanny_Valdivia_Candia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valle, I. (2022). *Caracterización mecánica y térmica de materiales compuestos con ABS reforzados con fibra de vidrio para la fabricación de aletines laterales de automóviles en impresión 3d*. [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK], Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4827>

Vega, J., & Ramírez, S. (2020). Fuentes de energía. *Spain Marcombo*. Retrieved from https://www.google.com.ec/books/edition/Fuentes_de_energ%C3%ADa/nExOEA-AAQBAJ?hl=en&gbpv=1

Velasco, M. (2020). *ESTUDIO DE MALLADO ESTRUCTURADO 3D ROTATIVO EN OPENFOAM PARA APLICACIONES EN TURBINAS TIPO FRANCIS*. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20915/1/CD%2010429.pdf>

Vergara, M., Chila Godoy, I., & Mila, F. (2020). COOPERACIÓN INTERNACIONAL Y DESARROLLO PRODUCTIVO EN ESMERALDAS-ECUADOR: CARACTERÍSTICAS ACTUALES Y RETOS EN LA PANDEMIA. *Investigación y desarrollo Revista de Divulgación Científica y Cultura Ambato*, 14(1), 97-109. Retrieved from <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/dide/article/view/1275>

Wild, M. (2022). *Design, Modelling, Experimental Demonstration, and Investigation of a Gas-Solid Thermochemical Heat Storage Reactor*. [Tesis doctoral, ETH Zürich]. Retrieved from <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/548557>

Zalazar, C., Góngora, E., Legrá, A., Retirado, Y., & Caneghem, V. (2021). Determinación del calor específico del mineral laterítico mediante el método de calorimetría diferencial de barrido. *Minería y Geología*, 37(3), 318-332. Epub 30 de septiembre de 2021. Retrieved from

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122021000300318&lng=es&tlng=es

Zambrano, J. (2021). *Comparativo de la factibilidad de una solución aislada que utiliza energía solar o hidrocinética*. [Universidad Nacional de Colombia, Tesis Doctoral], Colombia. Retrieved from <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81191/8028499.2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zhang, A., & Li, Y. (2023). Thermal Conductivity of Aluminum Alloys-A Review. *Materials*, 16(8), 2972.

O T R A S F U E N T E S C O N S U L T A D A S

https://www.uma.es/doctorado-imee/navegador_de_ficheros/REPOSITORIO-PD-IMEE/descargar/tesis%20FPG.pdf

ANEXOS

Anexo 1

Censo Ecuador 2022

Autoguardado 01_2022_CPV_Estructura_poblacional... Guardado en Este PC

Jose Garcia

Archivo Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Ayuda

Comentarios Compartir

Regar Century Gothic 9 A⁺ N K S Fuente Alineación Número Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Celdas Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar Complementos Analizar datos

C627 Cevallos

CENSO ECUADOR cuenta conmigo

Censo Ecuador 2022
Tabulados

INEC Buena vida, mejores vidas

Tabla N°: 1.1
Nombre de la tabla: Población por sexo al nacer, según provincia, cantón y área de residencia
Fuente: VIII Censo de Población y VII de Vivienda
Elaboración: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - Componente de Metodología y Análisis - CPV 2022

Índice

Provincia, cantón y área de residencia			Número total de personas	Sexo al nacer	
				Hombres	Mujeres
Total Nacional	Nacional	Nacional	8.538.986	8.252.523	8.686.463
Total Nacional	Nacional	Urbana	8.687.783	5.813.070	5.525.281
Total Nacional	Nacional	Rural	6.251.875	3.090.653	3.161.182
Azuay	Total Azuay	Total Azuay	801.609	376.419	425.190
Azuay	Total Azuay	Urbana	433.161	198.577	234.584
Azuay	Total Azuay	Rural	368.448	177.842	200.606
Azuay	Cuenca	Total Cuenca	596.161	281.823	314.338
Azuay	Cuenca	Urbana	361.524	171.684	189.840
Azuay	Cuenca	Rural	234.637	109.139	124.498
Azuay	Girón	Total Girón	12.182	5.532	6.650
Azuay	Girón	Urbana	4.353	1.952	2.401
Azuay	Girón	Rural	7.829	3.580	4.249
Azuay	Guilacoe	Total Guilacoe	43.188	19.421	23.767
Azuay	Guilacoe	Urbana	13.843	6.307	7.536
Azuay	Guilacoe	Rural	29.345	13.114	16.231
Azuay	Nabón	Total Nabón	14.776	6.728	8.048
Azuay	Nabón	Urbana	1.276	590	686
Azuay	Nabón	Rural	13.500	6.138	7.362
Azuay	Paute	Total Paute	26.762	12.351	14.411

Índice 1 1.1 1.2 2 2.1 3 +

Listo Accesibilidad: es necesario investigar

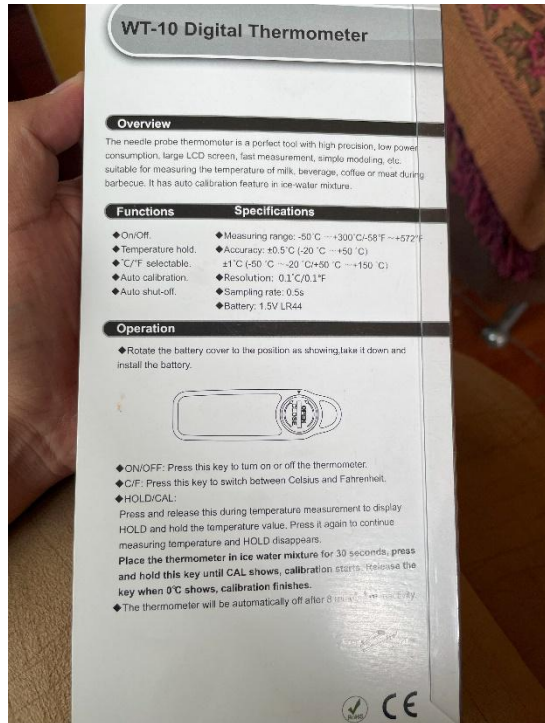
Anexo 2

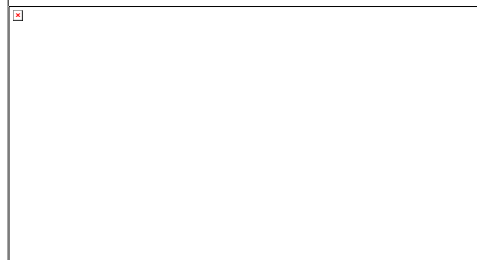
Fotografías de la implementación del panel



Anexo 3

Fotografías de las mediciones realizadas





Anexo 4

Valores de temperatura obtenidos del instrumento de medición cada 10 segundos durante la prueba

Temperatura registrada por el dispositivo cada 10 segundos en [°C]	
Tiempo en segundos	Temperatura a la salida del agua en [°C]
0,017742716	7,604097731
1,733269833	7,796836956
8,433132388	8,133117743
10	8,205069769
20	8,51030874
30	8,745443918
40	8,940116241
50	9,111448253
60	9,248922339
70	9,392299644
80	9,535736584
90	9,677379907
100	9,81345464
110	9,946650829
120	10,07423192
130	10,18034358
140	10,29632476
150	10,41657736
160	10,53518643
170	10,65193232
180	10,76472897
190	10,87453084
200	10,97979703
210	11,0843328
220	11,18778407
230	11,2890641
240	11,38507936
250	11,46830656
260	11,56012144
270	11,65633841
280	11,75327492

290	11,84873522
300	11,94279297
310	12,03457477
320	12,12521476
330	12,21376889
340	12,30131101
350	12,37793917
360	12,46410761
370	12,54913099
380	12,62484825
390	12,70339626
400	12,78001124
410	12,86109345
420	12,93802463
430	13,01791598
440	13,09785846
450	13,17704093
460	13,24889083
470	13,32400714
480	13,39543031
490	13,46946566
500	13,54024388
510	13,61312316
520	13,68236291
530	13,7488324
540	13,81912322
550	13,88636386
560	13,95647933
570	14,02563714
580	14,09566906
590	14,16327545
600	14,23123081
610	14,29274894
620	14,35072836
630	14,41271678
640	14,47454321
650	14,53805332
660	14,60024234
670	14,66287183
680	14,72449575
690	14,78621297
700	14,84956368
710	14,91101115

720	14,97332285
730	15,03317575
740	15,09378583
750	15,15237854
760	15,21136081
770	15,26861399
780	15,32696557
790	15,37900424
800	15,4332067
810	15,48749344
820	15,54529554
830	15,60074772
840	15,65686626
850	15,71151898
860	15,76704125
870	15,81786976
880	15,86962518
890	15,92101742
900	15,97424586
910	16,01657143
920	16,07026083
930	16,12378357
940	16,17788346
950	16,22984475
960	16,28249794
970	16,3335656
980	16,38540587
990	16,43575615
1000	16,48648053
1010	16,53558064
1020	16,58316785
1030	16,63024649
1040	16,67822118
1050	16,72491391
1060	16,76399389
1070	16,81387059
1080	16,86371394
1090	16,91120175
1100	16,95437397
1110	16,99738349
1120	17,04046913
1130	17,0869978
1140	17,13444761

1150	17,18049359
1160	17,22372187
1170	17,26643696
1180	17,31108637
1190	17,35514109
1200	17,40011979
1210	17,44384845
1220	17,48699723
1230	17,52743449
1240	17,5691408
1250	17,61084301
1260	17,65366797
1270	17,69601129
1280	17,73656776
1290	17,77675159
1300	17,81854686
1310	17,8598292
1320	17,90307537
1330	17,94458461
1340	17,98397283
1350	18,01571302
1360	18,05781773
1370	18,09914444
1380	18,14109582
1390	18,18177496
1400	18,22308826
1410	18,26300977
1420	18,30599219
1430	18,34678132
1440	18,3874628
1450	18,42700121
1460	18,46733015
1470	18,50651646
1480	18,54349142
1490	18,58047603
1500	18,61789339
1510	18,65514532
1520	18,6914411
1530	18,7280468
1540	18,76536281
1550	18,80274862
1560	18,84140362
1570	18,87901777

1580	18,91746967
1590	18,95471548
1600	18,99240043
1610	19,02895681
1620	19,06684884
1630	19,10350604
1640	19,14057075
1650	19,17665829
1660	19,21337982
1670	19,24727377
1680	19,28049654
1690	19,3172275
1700	19,35479336
1710	19,39100793
1720	19,42751025
1730	19,46299243
1740	19,49918849
1750	19,52764381
1760	19,56605697
1770	19,60304126
1780	19,63973343
1790	19,67491077
1800	19,7077345
1810	19,73893838
1820	19,76994858
1830	19,80194382
1840	19,83625279
1850	19,87067487
1860	19,90641931
1870	19,94128365
1880	19,97693594
1890	20,01132804
1900	20,04647218
1910	20,08031313
1920	20,11477539
1930	20,14815474
1940	20,18240516
1950	20,2156569
1960	20,24965471
1970	20,28021863
1980	20,31202959
1990	20,34397683
2000	20,377449

2010	20,41019997
2020	20,44381134
2030	20,47416794
2040	20,50569366
2050	20,53705726
2060	20,56997936
2070	20,59962372
2080	20,63129344
2090	20,66230186
2100	20,69497022
2110	20,74830068
2120	20,82710174
2130	20,90538676
2140	20,98377509
2150	21,06267286
2160	21,1422122
2170	21,22200761
2180	21,30208253
2190	21,38170965
2200	21,46133011
2210	21,54127656
2220	21,62161964
2230	21,70228553
2240	21,78314242
2250	21,86407544
2260	21,94499066
2270	22,02584053
2280	22,1065758
2290	22,18716198
2300	22,26757706
2310	22,34769006
2320	22,42752972
2330	22,50715474
2340	22,58658894
2350	22,66581342
2360	22,744805
2370	22,823576
2380	22,90215708
2390	22,98059605
2400	23,05892179
2410	23,13717196
2420	23,21527606
2430	23,29308289

2440	23,37067222
2450	23,44814689
2460	23,52558513
2470	23,60304611
2480	23,68050994
2490	23,75793509
2500	23,83530352
2510	23,91262617
2520	23,98987659
2530	24,06702229
2540	24,14404119
2550	24,22095284
2560	24,29773498
2570	24,37420031
2580	24,45029205
2590	24,52611547
2600	24,60177608
2610	24,67734449
2620	24,70352221
2630	24,76718837
2640	24,84396297
2650	24,92422714
2660	25,00483885
2670	25,08487379
2680	25,16405642
2690	25,24241681
2700	25,32004514
2710	25,3970824
2720	25,47291061
2730	25,54877507
2740	25,6245263
2750	25,70010883
2760	25,77547021
2770	25,85050487
2780	25,92523542
2790	25,99970371
2800	26,07392197
2810	26,14796098
2820	26,22229998
2830	26,29678698
2840	26,37118408
2850	26,44544735
2860	26,51951933

2870	26,5934064
2880	26,66707962
2890	26,74052744
2900	26,81374701
2910	26,88676653
2920	26,96029193
2930	27,03360358
2940	27,1065255
2950	27,17906397
2960	27,2512347
2970	27,32303642
2980	27,39442494
2990	27,4654434
3000	27,53616946
3010	27,60664677
3020	27,67488025
3030	27,74321628
3040	27,81190043
3050	27,88171777
3060	27,95079349
3070	28,01959134
3080	28,08795917
3090	28,15659446
3100	28,23590717
3110	28,2929929
3120	28,37141926
3130	28,44630425
3140	28,51803643
3150	28,58767428
3160	28,65596702
3170	28,72338805
3180	28,79025114
3190	28,85644794
3200	28,92205385
3210	28,98730935
3220	29,05251473
3230	29,11743249
3240	29,18257161
3250	29,24811451
3260	29,3140095
3270	29,38014594
3280	29,44639408
3290	29,51265082

3300	29,57884514
3310	29,64493199
3320	29,711159
3330	29,77674486
3340	29,84209451
3350	29,90732062
3360	29,97244371
3370	30,03747789
3380	30,10241668
3390	30,16726863
3400	30,23202869
3410	30,29670982
3420	30,35975635
3430	30,42304787
3440	30,48638353
3450	30,54970721
3460	30,61299374
3470	30,67623063
3480	30,73939015
3490	30,80245986
3500	30,86541535
3510	30,92825727
3520	30,98755112
3530	31,04737418
3540	31,10767755
3550	31,16828661
3560	31,2290755
3570	31,2539507
3580	31,33074126
3590	31,37661064
3600	31,45424105
3610	31,50223059
3620	31,56531889
3630	31,62061678
3640	31,68766755
3650	31,75201297
3660	31,81480135
3670	31,87683908
3680	31,93841069
3690	31,99958179
3700	32,06043171
3710	32,1211412
3720	32,18147361

3730	32,24155947
3740	32,30379907
3750	32,36301406
3760	32,42141844
3770	32,48040587
3780	32,54203091
3790	32,60062805
3800	32,65848367
3810	32,71942511
3820	32,77751833
3830	32,83755135
3840	32,89504385
3850	32,95467591
3860	33,01351344
3870	33,07233516
3880	33,13091473
3890	33,18912936
3900	33,24704924
3910	33,30474909
3920	33,36227355
3930	33,41964005
3940	33,47686146
3950	33,53381958
3960	33,60132831
3970	33,66238625
3980	33,71014277
3990	33,76267956
4000	33,81769721
4010	33,87333241
4020	33,94012459
4030	33,98683624
4040	34,04904818
4050	34,10658442
4060	34,16297653
4070	34,22134547
4080	34,2793822
4090	34,33077203
4100	34,38736703
4110	34,43951379
4120	34,49648734
4130	34,55400779
4140	34,61080446
4150	34,66680869

4160	34,72218476
4170	34,77709021
4180	34,8316387
4190	34,88591179
4200	34,9399625
4210	34,99382449
4220	35,04752479
4230	35,10107923
4240	35,15449993
4250	35,20779278
4260	35,26096021
4270	35,31401118
4280	35,366941
4290	35,41975343
4300	35,47245246
4310	35,52504173
4320	35,57752237
4330	35,62989849
4340	35,68216196
4350	35,73432244
4360	35,78638015
4370	35,83833
4380	35,89017387
4390	35,94191682
4400	35,99355767
4410	36,04509398
4420	36,09652384
4430	36,1478436
4440	36,19905757
4450	36,25016134
4460	36,30115796
4470	36,35204012
4480	36,40281281
4490	36,45346621
4500	36,50400735
4510	36,55443434
4520	36,60475191
4530	36,654948
4540	36,70502975
4550	36,75499461
4560	36,80484316
4570	36,85457939
4580	36,90409941

4590	36,95361619
4600	37,00301921
4610	37,05220806
4620	37,10139273
4630	37,15045968
4640	37,19941416
4650	37,24824398
4660	37,29695384
4670	37,31017058
4680	37,36987563
4690	37,42871015
4700	37,45729948
4710	37,51809384
4720	37,57649722
4730	37,60595356
4740	37,6659958
4750	37,72337671
4760	37,75294995
4770	37,81211213
4780	37,84920775
4790	37,90899989
4800	37,94636622
4810	38,00562435
4820	38,04244613
4830	38,10125659
4840	38,13796141
4850	38,19635788
4860	38,23251268
4870	38,29059776
4880	38,32668662
4890	38,38444982
4900	38,42023259
4910	38,47758769
4920	38,51289956
4930	38,57014815
4940	38,60539113
4950	38,66236153
4960	38,69712777
4970	38,7538812
4980	38,78841313
4990	38,84496109
5000	38,87947392
5010	38,93577741

5020	38,97004567
5030	39,02613409
5040	39,07876496
5050	39,12777383
5060	39,17457347
5070	39,21998284
5080	39,26470144
5090	39,30892121
5100	39,35271298
5110	39,39636932
5120	39,43983792
5130	39,48317092
5140	39,52628454
5150	39,56939905
5160,016939	39,61246344
5169,892289	39,65483309
5170	39,65529848
5180	39,69801903
5183,463608	39,67242353
5190	39,71108456
5199,473768	39,72524221
5200	39,72753261
5210	39,79615544
5220	39,83669591
5230	39,86012174
5238,520972	39,90681331
5240	39,90849114
5250	39,94578788
5260	40,01092688
5270	40,03280004
5280	40,07671214
5290	40,12991368
5300	40,18885654
5310	40,2416132
5320	40,25671953
5330	40,31763332
5340	40,34020351
5350	40,4019048
5360	40,42489878
5370	40,48600488
5380	40,50853663
5390	40,56930309
5400	40,59142303

5410	40,65196599
5420	40,67376386
5430	40,73411385
5440	40,75561539
5450	40,81581789
5460,048194	40,83727178
5469,879164	40,89647297
5470	40,89570319
5480,020167	40,91609044
5483,47372	40,93936099
5486,83744	40,95169077
5490	40,96523136
5499,827938	40,99109469
5500	40,99193059
5509,920378	41,04076317
5510	41,04116515
5514,984188	41,0522122
5515,419448	41,05314334
5517,289066	41,0590002
5518,188542	41,0621533
5519,735278	41,06678505
5520	41,06814472
5526,359326	41,11133126
5527,167063	41,10907447
5529,584743	41,12354694
5530	41,12356013
5535,968518	41,1596795
5537,970466	41,16279271
5540	41,17730547
5545,981893	41,19716374
5550	41,21135757
5559,669419	41,24929916
5560	41,25224217
5569,293527	41,26451119
5570	41,26650521
5576,052352	41,28943801
5580	41,31778543
5588,835052	41,34451876
5590	41,3508863
5599,181394	41,38573457
5600	41,3919083
5609,584542	41,42738386
5610	41,43050408

5619,187326	41,46534699
5620	41,46912893
5629,870052	41,51642402
5630	41,51645914
5633,490056	41,53115725
5634,52199	41,53372533
5636,709214	41,54233618
5640	41,54706328
5644,066008	41,56008214
5650	41,58257109
5659,19161	41,62139279
5660	41,62480541
5669,250138	41,66212083
5670	41,66516994
5679,217057	41,70095636
5680	41,70694928
5689,215602	41,74116301
5690	41,74343043
5699,326371	41,78699842
5700	41,79021457
5708,26642	41,82578879
5710	41,83320034
5719,029692	41,86875721
5720	41,87262593
5729,572545	41,909076
5730	41,91059064
5739,492082	41,94612581
5740	41,94803139
5749,377444	41,9840134
5750	41,98582021
5754,81912	42,00344673
5760	42,0231666
5764,49991	42,04277002
5770	42,06133613
5779,400305	42,07979296
5780	42,08374195
5788,605254	42,13700588
5790	42,12706706
5798,146353	42,16183865
5800	42,16790811
5808,901373	42,20537911
5810	42,20993663
5819,410239	42,24696558

5820	42,24916002
5829,363741	42,28454077
5830	42,28681297
5836,603659	42,31243636
5840	42,32455676
5847,84962	42,35473802
5850	42,36188989
5859,535577	42,39691485
5860	42,39850622
5869,504056	42,43337027
5870	42,43400205
5879,47469	42,4690823
5880	42,46692
5884,555271	42,48074175
5889,389994	42,49265403
5890	42,49524612
5899,395141	42,52628277
5900	42,52912179
5909,500913	42,58854114
5910	42,58837416
5918,926863	42,62142368
5920	42,61939302
5924,423558	42,64491844
5929,13326	42,64839192
5930	42,65392647
5937,709814	42,67760741
5940	42,69383591
5949,21305	42,73213543
5950	42,73294337
5959,257884	42,76831259
5960	42,77108288
5968,994662	42,80424409
5970	42,80799335
5979,178839	42,84063158
5980	42,84359623
5988,507307	42,87376093
5990	42,87895492
5999,00905	42,91172506
6000	42,91467267
6009,300679	42,9472563
6010	42,9495983
6018,739222	42,98062643
6020	42,98500149

6027,502832	43,01294031
6030	43,021049
6037,852601	43,04890931
6040	43,05657333
6049,096057	43,08896207
6050	43,0920802
6059,11984	43,12450987
6060	43,12751042
6069,192401	43,1613569
6070	43,16346445
6079,184754	43,19550245
6080	43,19824444
6089,209465	43,23070047
6090	43,23336441
6099,187626	43,26569994
6100	43,26843003
6108,859946	43,29955335
6110	43,30345568
6114,523204	43,31958686
6120	43,33929049
6129,300347	43,37335807
6130	43,37507682
6139,172632	43,40670681
6140	43,40727888
6145,853882	43,42812671
6150	43,4425186
6159,286793	43,47714655
6160	43,47889786
6169,136864	43,51065862
6170	43,51353868
6177,745402	43,54170505
6180	43,54859328
6186,820477	43,57218968
6190	43,58338954
6199,07163	43,61486181
6200	43,61797734
6209,054335	43,64923116
6210	43,6523588
6219,085513	43,68470859
6220	43,68705224
6227,670243	43,7130127
6230	43,72097873
6239,053063	43,75312407

6240	43,75558465
6249,052519	43,78606239
6250	43,7891508
6258,236226	43,8184105
6260	43,82357102
6269,027183	43,85387855
6270	43,85706692
6279,029559	43,88767772
6280	43,89083705
6289,019021	43,92258156
6290	43,92511064
6299,027174	43,95520839
6300	43,95835865
6308,990437	43,98858812
6310	43,9918673
6319,026753	44,02216467
6320	44,02531423
6328,93933	44,05534092
6330	44,05878095
6337,982298	44,08559505
6340	44,09232689
6348,876187	44,12206327
6350	44,12573055
6358,948832	44,15566726
6360	44,15905752
6368,936117	44,18878418
6370	44,19221321
6378,946935	44,22194622
6380	44,22532932
6388,870513	44,25474512
6390	44,2583782
6398,957439	44,28806037
6400	44,29139606
6408,827255	44,32057338
6410	44,3243369
6418,922425	44,35373476
6420	44,35717564
6428,806828	44,38622993
6430	44,39004471
6438,888429	44,41920953
6440	44,42274904
6448,783008	44,45156785
6450	44,4554513

6458,858223	44,48440718
6460	44,48803044
6468,764746	44,51664925
6470	44,5205748
6477,288827	44,54443535
6480	44,5533199
6488,746247	44,58315643
6490	44,58637493
6498,787209	44,61451905
6500	44,61833358
6508,788453	44,64806066
6510	44,65109703
6518,784221	44,67891628
6520	44,68270488
6528,764164	44,71077279
6530	44,71462573
6538,787968	44,74270825
6540	44,74647768
6548,75222	44,77442123
6550	44,77830125
6558,780189	44,80634395
6560	44,81012945
6568,733871	44,83795056
6570	44,84188087
6578,762488	44,86974491
6580	44,87357627
6588,706733	44,90121799
6590	44,9052232
6598,739125	44,93290954
6600	44,93680211
6608,683589	44,96426779
6610	44,96833202
6618,716575	44,99583955
6620	44,99978974
6628,662908	45,02708152
6630	45,0311963
6638,694618	45,05852653
6640	45,06253183
6648,645636	45,08970703
6650	45,09386032
6658,673746	45,12102697
6660	45,12508285
6668,631331	45,15205741

6670	45,1562404
6678,656133	45,18326876
6680	45,18736304
6688,621185	45,21419484
6690	45,21839328
6698,575605	45,24502673
6700	45,24936109
6708,606609	45,27603024
6710	45,28025589
6718,624012	45,30691321
6720	45,3110742
6728,597194	45,33757648
6730	45,34180706
6737,343113	45,36449255
6740	45,372711
6748,58053	45,4005113
6750	45,40398914
6758,59779	45,42993471
6760	45,43411426
6768,578649	45,46165601
6770	45,46509664
6778,572119	45,49069697
6780	45,49492429
6788,564641	45,52079144
6790	45,52503448
6798,564005	45,55082295
6800	45,55506338
6808,549562	45,58078259
6810	45,5850649
6818,54716	45,61076722
6820	45,61505657
6828,532607	45,64069448
6830	45,64502372
6838,530349	45,67061733
6840	45,67494657
6848,51762	45,70046898
6850	45,70483093
6858,514509	45,73029024
6860	45,7346512
6868,501465	45,7600267
6870	45,76442282
6878,496373	45,78973778
6880	45,79414145

6888,483657	45,81937206
6890	45,8238056
6898,480307	45,84904078
6900	45,85347455
6908,470121	45,87862591
6910	45,88308234
6918,464889	45,90813511
6920	45,91259953
6928,454972	45,93756286
6930	45,9420458
6938,450885	45,9669386
6940	45,97142443
6948,442357	45,99627792
6950	46,00077409
6958,437256	46,02551904
6960	46,03002326
6968,168989	46,05395893
6970	46,05926738
6978,420498	46,08386573
6980	46,08840965
6988,414213	46,11295701
6990	46,1130742
6998,408736	46,13823104
7000	46,14322882
7008,401251	46,16944751
7010	46,17433036
7018,394526	46,19950161
7020	46,20421936
7028,385418	46,22881071
7030	46,23345778
7038,378072	46,25774212
7040	46,26236216
7048,371265	46,28650356
7050	46,28661208
7058,365624	46,31137253
7060	46,31241759
7068,360331	46,33887457
7070	46,34042457
7078,355024	46,36743094
7080	46,36917805
7088,347382	46,39627448
7090	46,39809822
7098,339411	46,42512473

7100	46,42697138
7108,334118	46,45356884
7110	46,45538485
7118,32959	46,48191122
7120	46,48375384
7128,325135	46,51024947
7130	46,51210798
7138,319608	46,53860832
7140	46,54048088
7148,313853	46,56691414
7150	46,56880094
7158,30755	46,59513848
7160	46,59702821
7168,301556	46,62331782
7170	46,62521052
7178,294799	46,65143008
7180	46,65333135
7188,288509	46,67945305
7190	46,68135564
7198,280869	46,70740716
7200	46,70931444
7208,273628	46,7352797
7210	46,73723035
7218,26729	46,76311592
7220	46,7650585
7228,260684	46,79082759
7230	46,79272994
7238,254007	46,81842845
7240	46,82033998
7248,247179	46,84601534
7250	46,84797175
7258,23946	46,87357218
7260	46,87552639
7268,23088	46,90104546
7270	46,90299978
7278,223382	46,92844208
7280	46,93039935
7288,215559	46,95577947
7290	46,95774059
7298,209438	46,98305021
7300	46,98501078
7308,202431	47,01025683
7310	47,01222074

7318,194218	47,03740591
7320	47,03937608
7328,186243	47,06446606
7330	47,06644079
7338,179338	47,09150074
7340	47,09347879
7348,17256	47,11848411
7350	47,12046542
7358,166624	47,14670198
7360	47,14796588
7368,160498	47,17256177
7370	47,17451874
7378,153659	47,19926676
7380	47,20123183
7388,147355	47,22595681
7390	47,22792738
7398,140637	47,2526137
7400	47,25459374
7408,134432	47,27923974
7410	47,28122796
7418,12819	47,30711077
7420	47,30839358
7428,122564	47,33394907
7430	47,33518269
7438,116448	47,35934105
7440	47,36128731
7448,109687	47,38563701
7450	47,38759545
7458,103372	47,41190944
7460	47,413883
7468,097085	47,43943036
7470	47,44070466
7478,091187	47,46469396
7480	47,46666341
7488,084436	47,49085133
7490	47,49283374
7498,077473	47,51826258
7500	47,51953288
7508,071231	47,54468523
7510	47,54592265
7518,064877	47,57100816
7520	47,57220897
7528,059153	47,59720783

7530	47,59837016
7538,052795	47,62192989
7540	47,62386168
7548,047614	47,64890152
7550	47,6501419
7558,041728	47,67364573
7560	47,67559614
7568,035713	47,69933511
7570	47,70130935
7578,02977	47,7263143
7580	47,72759194
7588,024107	47,75234749
7590	47,75358455
7598,017969	47,77828051
7600	47,77948435
7608,012185	47,8041228
7610	47,80525781
7618,006706	47,82984078
7620	47,83095222
7628,001298	47,85549859
7630	47,8565844
7637,994957	47,87959409
7640	47,88152009
7647,988937	47,90611569
7650	47,90732655
7657,983059	47,93169938
7660	47,93286168
7667,97682	47,95721411
7670	47,95833743
7677,971118	47,98117365
7680	47,98311009
7687,965356	48,0074924
7690	48,00871055
7697,959485	48,03289339
7700	48,03405997
7707,953381	48,05821711
7710	48,05934456
7717,947357	48,08344423
7720	48,0845408
7727,941573	48,10709342
7730	48,10902461
7737,935717	48,13315707
7740	48,13437419

7747,930214	48,15828832
7750	48,15943487
7757,924557	48,18330062
7760	48,1844243
7767,918263	48,20826059
7770	48,20935467
7777,912041	48,23313578
7780	48,23421198
7787,905699	48,25793795
7790	48,25900112
7797,900016	48,28265067
7800	48,28370486
7807,894413	48,30733025
7810	48,30837966
7817,888891	48,33193544
7820	48,3329799
7827,88375	48,35651675
7830	48,35755864
7837,878326	48,3810542
7840	48,3820934
7847,87361	48,40554063
7850	48,4065775
7857,86808	48,42996383
7860	48,43100077
7867,862944	48,45436983
7870	48,45540653
7877,85812	48,47873759
7880	48,47977081
7887,853364	48,50303625
7890	48,50406937
7897,848341	48,52731322
7900	48,52834229
7907,843565	48,55153687
7910	48,55256354
7917,838071	48,57571607
7920	48,57674131
7927,832759	48,59984212
7930	48,60086634
7937,827382	48,62391935
7940	48,62494104
7947,822202	48,64792563
7950	48,64894624
7957,817017	48,67190711

7960	48,67290434
7967,811886	48,69579386
7970	48,69680968
7977,806634	48,71967718
7980	48,72068986
7987,801509	48,74350855
7990	48,74452171
7997,79645	48,76729626
8000	48,76830511
8007,79206	48,79103484
8010	48,79204184
8017,787669	48,8147271
8020	48,8157298
8027,783292	48,8383463
8030	48,8393469
8037,778506	48,86194327
8040	48,8629407
8047,773774	48,88549442
8050	48,88648939
8057,769467	48,90899909
8060	48,90998994
8067,764967	48,93245751
8070	48,93344572
8077,760342	48,95586845
8080	48,95685455
8087,75575	48,97921287
8090	48,98019829
8097,75088	49,00251818
8100	49,00350003
8107,746419	49,02579677
8110	49,02677652
8117,74135	49,04903489
8120	49,05001218
8127,736832	49,07222155
8130	49,07319629
8137,731906	49,09536491
8140	49,09633771
8147,727363	49,11846416
8150	49,11943418
8157,722987	49,14151829
8160	49,14248558
8167,719127	49,16452925
8170	49,1654914

8177,714892	49,18749396
8180	49,18845251
8187,710297	49,21041563
8190	49,21137256
8197,705837	49,23328864
8200	49,23424193
8207,701017	49,25611917
8210	49,25707078
8217,696813	49,27887711
8220	49,27982739
8227,691754	49,30161181
8230	49,30256068
8237,686356	49,3242952
8240	49,32524351
8247,680432	49,34693263
8250	49,34788053
8257,674301	49,36952298
8260	49,37047037
8267,667879	49,39206795
8270	49,39301684
8277,661602	49,41456793
8280	49,41551586
8287,655483	49,43700286
8290	49,43795201
8297,649545	49,45940043
8300	49,46034821
8307,644381	49,48176881
8310	49,48271708
8317,639161	49,50410171
8320	49,50504565
8327,634924	49,52638702
8330	49,52732745
8337,629953	49,54863158
8340	49,54957232
8347,624867	49,57083638
8350	49,57177409
8357,61999	49,59297815
8360	49,59391727
8367,614773	49,61510559
8370	49,61604213
8377,610532	49,63716714
8380	49,6381006
8387,606018	49,65920595

8390	49,66013688
8397,601261	49,68120391
8400	49,68213312
8407,596573	49,70316559
8410	49,70408977
8417,592483	49,72507371
8420	49,72599666
8427,587714	49,74692567
8430	49,7478458
8437,583397	49,76873604
8440	49,76965184
8447,578342	49,7905206
8450	49,79143717
8457,57329	49,81227227
8460	49,81318384
8467,568855	49,83397682
8470	49,8348866
8477,565087	49,8556326
8480	49,85653426
8487,560878	49,87724356
8490	49,87814333
8497,55595	49,89879765
8500	49,89969739
8507,551506	49,92033221
8510	49,9212266
8517,547074	49,94182001
8520	49,94271101
8527,537283	49,96323488
8530	49,96413065
8537,524369	49,98461146
8540	49,98551641
8547,516403	50,00593479
8550	50,00684111
8557,509939	50,02723665
8560	50,02814329
8567,503137	50,04847743
8570	50,04938626
8577,496697	50,06967934
8580	50,07058837
8587,491402	50,09085663
8590	50,0917624
8597,486726	50,11197306
8600	50,11287584

8607,48185	50,13304778
8610	50,13394997
8617,476685	50,15408567
8620	50,15498786
8627,471824	50,17510108
8630	50,1759984
8637,467255	50,19607408
8640	50,19696944
8647,463028	50,21700753
8650	50,21789786
8657,458769	50,23789412
8660	50,23878027
8667,45414	50,25874145
8670	50,25962173
8677,449919	50,27951767
8680	50,28039863
8687,445254	50,30028518
8690	50,301163
8697,442443	50,32099192
8700	50,32186401
8707,438495	50,34167762
8710	50,3425446
8717,435042	50,362327
8720	50,3631902
8727,430806	50,38293517
8730	50,38379525
8737,426185	50,40349067
8740	50,404312
8747,422093	50,4239794
8750	50,42483333
8757,41925	50,44445403
8760	50,44530415
8767,416311	50,46491166
8770	50,46575391
8777,413073	50,48533009
8780	50,48616763
8787,409538	50,50570819
8790	50,50654261
8797,405455	50,52604745
8800	50,5268779
8807,401622	50,54634884
8810	50,54717483
8817,397765	50,5665934

8820	50,56741738
8827,394136	50,58680234
8830	50,58762414
8837,389781	50,60696696
8840	50,60778395
8847,386274	50,627111
8850	50,62792407
8857,383386	50,64721675
8860	50,64802138
8867,37937	50,66727391
8870	50,66791366
8877,376478	50,68708196
8880	50,68783535
8887,372427	50,7069476
8890	50,70776263
8897,369373	50,72682983
8900	50,72767705
8907,365195	50,74669813
8910	50,74756095
8917,362216	50,76655614
8920	50,76743034
8927,357879	50,78637538
8930	50,78725144
8937,355087	50,80617454
8940	50,80704641
8947,351215	50,82594994
8950	50,82681882
8957,348379	50,84567962
8960	50,8465476
8967,344313	50,86539274
8970	50,86625992
8977,340316	50,88507372
8980	50,88593501
8987,337698	50,90471836
8990	50,90557608
8997,333781	50,92433038
9000	50,9251884
9007,330806	50,9439139
9010	50,94475956
9017,328035	50,96344433
9020	50,96428956
9027,324108	50,98293265
9030	50,98377536

9037,321029	51,00239641
9040	51,00322935
9047,318165	51,0218012
9050	51,02262944
9057,31467	51,04117997
9060	51,04200344
9067,310173	51,06050141
9070	51,06132244
9077,306365	51,07978612
9080	51,0805994
9087,302977	51,0990173
9090	51,09982759
9097,298469	51,11822047
9100	51,11902891
9107,295324	51,13738832
9110	51,13819111
9117,291951	51,15650557
9120	51,15730125
9127,28849	51,17558236
9130	51,17637599
9137,285654	51,19463288
9140	51,19541945
9147,283454	51,21364105
9150	51,21442026
9157,279994	51,23260422
9160	51,2333767
9167,276811	51,25152482
9170	51,25229266
9177,274032	51,27042952
9180	51,27113578
9187,271098	51,28926832
9190	51,28998681
9197,268096	51,30808221
9200	51,30880202
9207,266031	51,32688082
9210	51,3275938
9217,262536	51,34563043
9220	51,34634268
9227,260403	51,36434467
9230	51,3650522
9237,257396	51,38302559
9240	51,38372709
9247,255308	51,4016831

9250	51,40237816
9257,251802	51,42028706
9260	51,42097944
9267,249497	51,43887413
9270	51,4395624
9277,247299	51,45742076
9280	51,45810054
9287,244897	51,47592777
9290	51,47660463
9297,241898	51,49439765
9300	51,4950677
9307,238148	51,51283643
9310	51,513502
9317,235319	51,53123064
9320	51,53189249
9327,232692	51,54960988
9330	51,55026394
9337,230136	51,56793353
9340	51,5685814
9347,227387	51,58623586
9350	51,58687789
9357,224593	51,60449938
9360	51,60513514
9367,22165	51,62272755
9370	51,62336154
9377,218564	51,64092338
9380	51,64155205
9387,215727	51,65908475
9390	51,65970643
9397,212561	51,67720822
9400	51,67782643
9407,208887	51,69528772
9410	51,69590444
9417,205581	51,71334905
9420	51,71396294
9427,202461	51,73136781
9430	51,73198018
9437,199925	51,74935973
9440	51,74996041
9447,197494	51,76730782
9450	51,76790521
9457,193941	51,78522634
9460	51,78582308

9467,190163	51,80313513
9470	51,80372646
9477,187032	51,82100662
9480	51,82159688
9487,183446	51,83885265
9490	51,83943455
9497,180171	51,85666051
9500	51,85723961
9507,176151	51,87442517
9510	51,87500494
9517,172106	51,8921808
9520	51,89275292
9527,168696	51,90989629
9530	51,91046672
9537,164733	51,92758198
9540	51,92815004
9547,161223	51,94524043
9550	51,94580486
9557,158183	51,96286352
9560	51,96342216
9567,154852	51,98045224
9570	51,9810084
9577,151257	51,99801667
9580	51,99856991
9587,148368	52,01554918
9590	52,01609832
9597,145465	52,03304736
9600	52,03359012
9607,142072	52,0505014
9610	52,05104536
9617,13869	52,06793618
9620	52,06847339
9627,135864	52,08534347
9630	52,0858763
9637,132548	52,10272464
9640	52,1032529
9647,130145	52,12006833
9650	52,12059195
9657,127039	52,13738567
9660	52,1379037
9667,123984	52,15465601
9670	52,15517291
9677,120452	52,1719119

9680	52,17242524
9687,117583	52,18912493
9690	52,18963112
9697,114841	52,20631187
9700	52,20681577
9707,111621	52,22347276
9710	52,22397195
9717,108653	52,2405923
9720	52,24108719
9727,105714	52,25768961
9730	52,25817758
9737,102416	52,27474604
9740	52,27523359
9747,100151	52,29178328
9750	52,29226168
9757,09745	52,30878353
9760	52,30925878
9767,094836	52,32575305
9770	52,32622057
9777,091652	52,3426862
9780	52,34315153
9787,088121	52,35957655
9790	52,36003777
9797,084396	52,3764439
9800	52,37690551
9807,080838	52,39327378
9810	52,39372785
9817,077888	52,41006452
9820	52,41051287
9827,074854	52,42682461
9830	52,42726405
9837,072079	52,44355133
9840	52,44398837
9847,068746	52,46025556
9850	52,46068507
9857,065907	52,47690975
9860	52,4773375
9867,062495	52,4935529
9870	52,49397779
9877,059947	52,51016385
9880	52,51058056
9887,056901	52,52674073
9890	52,52715273

9897,053851	52,54328193
9900	52,5436904
9907,05065	52,5597926
9910	52,56019292
9917,0473	52,57625547
9920	52,57665764
9927,043986	52,59269308
9930	52,5930297
9937,041277	52,60903841
9940	52,60943025
9947,038637	52,62542103
9950	52,62580568
9957,036721	52,64175497
9960	52,64212501
9967,034345	52,65805584
9970	52,65842208
9977,031355	52,67432856
9980	52,67469507
9987,028188	52,6905815
9990	52,69094347
9997,025257	52,70679089
10000	52,70714552
10007,02243	52,72296084
10010	52,72331086
10017,01986	52,7391109
10020	52,73945106
10027,01759	52,75521868
10030	52,75555117
10037,01484	52,77129273
10040	52,77162262
10047,01096	52,78733853
10050	52,78766461
10057,00781	52,8033509
10060	52,8036716
10067,00425	52,81932407
10070	52,81964105
10077,00088	52,83527397
10080	52,83558678
10086,99787	52,85119713
10090	52,8515042
10096,99564	52,86708803
10100	52,8673897
10106,99284	52,88295119

10110	52,88325063
10116,98963	52,89877987
10120	52,8990777
10126,98642	52,91458613
10130	52,91488224
10136,98348	52,93038162
10140	52,93067515
10146,98083	52,9461561
10150	52,94644386
10156,97865	52,96188889
10160	52,96216819
10166,97617	52,97759944
10170	52,9778784
10176,97319	52,99329287
10180	52,99350203
10186,97036	53,00888856
10190	53,00916742
10196,96789	53,02453722
10200	53,0248067
10206,96562	53,04015163
10210	53,04042088
10216,96337	53,0557525
10220	53,05601339
10226,96151	53,0713248
10230	53,07158
10236,95884	53,08687567
10240	53,08713112
10246,9562	53,10240267
10250	53,10258511
10256,9534	53,11783086
10260	53,11807757
10266,95111	53,13330509
10270	53,13354758
10276,94871	53,14875582
10280	53,14899329
10286,94638	53,16416492
10290	53,16439587
10296,9434	53,17955433
10300	53,17978333
10306,9407	53,19491097
10310	53,19513064
10316,93816	53,2102326
10320	53,21044941

10326,93574	53,22553749
10330	53,22574911
10336,93357	53,2408042
10340	53,24101046
10346,93089	53,25605508
10350	53,25625678
10356,92821	53,27128103
10360	53,27147956
10366,92565	53,2864742
10370	53,28666831
10376,92311	53,30165246
10380	53,30184208
10386,92096	53,31680745
10390	53,31698911
10396,91885	53,3319306
10400	53,3321046
10406,91637	53,34702498
10410	53,34719735
10416,9138	53,36209676
10420	53,36226485
10426,9113	53,37714204
10430	53,37730701
10436,90842	53,39215473
10440	53,39231827
10446,90569	53,40714638
10450	53,40730574
10456,90314	53,42212018
10460	53,42227409
10466,90036	53,43706799
10470	53,43721962
10476,89813	53,45198414
10480	53,45212827
10486,88033	53,4668494
10490	53,46699882
10496,8936	53,48173429
10500	53,48187283
10506,89072	53,496585
10510	53,49671783
10516,88841	53,51140042
10520	53,51145754
10526,88695	53,5261181
10530	53,52623491
10536,8853	53,5408811

10540	53,54098947
10546,88327	53,55561296
10550	53,55572456
10556,88069	53,57033312

Anexo 4

Modelo de encuesta

con materiales reciclados en la comunidad de los páramos.

Instrucciones

Esta encuesta fue creada para saber su percepción sobre el prototipo de colector solar elaborado con materiales reciclados instalado en una vivienda de su comunidad. Su retroalimentación es vital para evaluar su efectividad y considerar futuras implementaciones.

Colocar un visto según corresponda

1. Edad: _____

2. Nombre: _____

3. Género

☐ Masculino

☐ Femenino

☐ Otro

4. ¿Conocía usted sobre la instalación del colector solar en una vivienda de su comunidad?

☐ Sí

☐ No

5. ¿Con qué frecuencia utilizaría el colector solar para sus actividades de aseo?

☐ Todos los días

☐ Varios días a la semana

☐ Ocasionalmente

6. ¿Qué valor le daría al impacto que tiene sobre las personas que usan en colector solar en su calidad de vida?

- ☐ 1=Muy Negativo
- ☐ 2=Negativo
- ☐ 3=Neutral
- ☐ 4=Positivo
- ☐ 5=Muy Positivo

7. ¿En qué medida cree que el acceso al agua caliente sea importante para las familias de la comunidad?

- ☐ 1=Nada importante
- ☐ 2=Poco importante
- ☐ 3=Medianamente importante
- ☐ 4=Importante
- ☐ 5=Muy importante

8. ¿Considera que la utilización de materiales reciclados para fabricar este colector es beneficioso para el medio ambiente?

- ☐ Sí
- ☐ No
- ☐ No estoy seguro/a

9. ¿Participaría usted en el uso de este colector si el prototipo se implementará a mayor escala en la comunidad?

- ☐ 1=Nada dispuesto/a
- ☐ 2=Poco dispuesto/a
- ☐ 3=Indiferente
- ☐ 4=Dispuesto/a
- ☐ 5=Muy dispuesto/a

10. ¿Cree que este proyecto puede mejorar las condiciones de vida de las familias de su comunidad?

- ☐ Sí
- ☐ No

☐ No estoy seguro/a

11. En el caso de adquirir por sus propios recursos este colector. ¿Cuál sería el máximo valor para pagar?

☐ 70 USD

☐ 80 USD

☐ 90 USD

☐ 100 USD

☐ 120 USD

Anexo 5

Encuestas realizadas a las 22 familias

Encuesta sobre la implementación de un prototipo de colector solar elaborado con materiales reciclados en la comunidad de los páramos.

Instrucciones

Esta encuesta fue creada para saber su percepción sobre el prototipo de colector solar elaborado con materiales reciclados instalado en una vivienda de su comunidad. Su retroalimentación es vital para evaluar su efectividad y considerar futuras implementaciones.

Colocar un visto según corresponda

1. Edad: 45

2. Nombre: Rosa Ruma

3. Género

☐ Masculino

☒ Femenino

☐ Otro

4. ¿Conoce usted sobre la instalación del colector solar en una vivienda de su comunidad?

☒ Sí

☐ No

5. ¿Con qué frecuencia utilizaría el colector solar para sus actividades de aseo?

☐ Todos los días

☐ Varios días a la semana

☒ Ocasionalmente

6. ¿Qué valor le daría al impacto que se tiene sobre las personas que usan un colector solar en su calidad de vida?

☐ 1=Muy Negativo

☐ 2=Negativo

☒ 3=Neutral

☐ 4=Positivo

☐ 5=Muy Positivo

7. ¿En qué medida cree que el acceso al agua caliente sea importante para las familias de la comunidad?

☐ 1=Nada importante

☐ 2=Poco importante

☐ 3=Medianamente importante

☒ 4=Importante

☐ 5=Muy importante

8. ¿Considera que la utilización de materiales reciclados para fabricar este colector es beneficioso para el medio ambiente?

☐ Sí

☐ No

☒ No estoy seguro/a

9. ¿Participaría usted en el uso de este colector si el prototipo se implementará a mayor escala en la comunidad?

☐ 1=Nada dispuesto/a

☐ 2=Poco dispuesto/a

☒ 3=Indiferente

☐ 4=Dispuesto/a

☐ 5=Muy dispuesto/a

10. ¿Cree que este proyecto puede mejorar las condiciones de vida de las familias de su comunidad?

☐ Sí

☐ No

☒ No estoy seguro/a

11. En el caso de adquirir por sus propios recursos este colector, ¿Cuál sería el máximo valor para pagar?

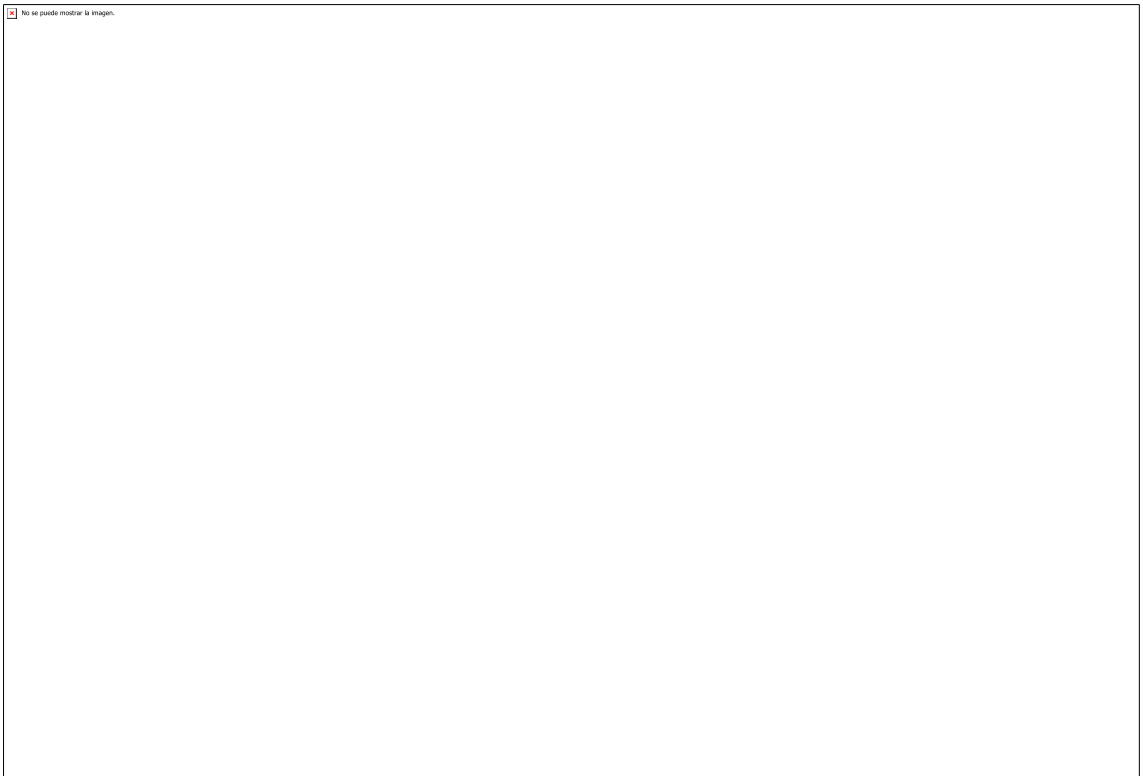
☒ 70 USD

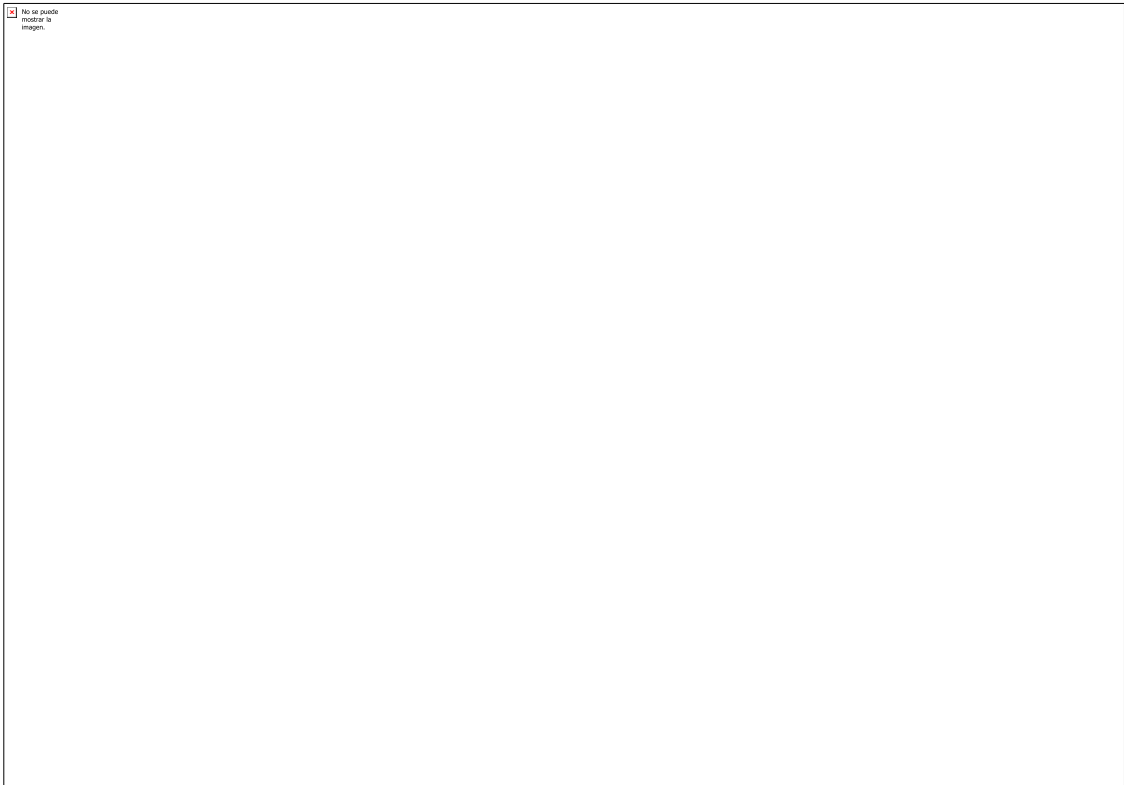
☐ 80 USD

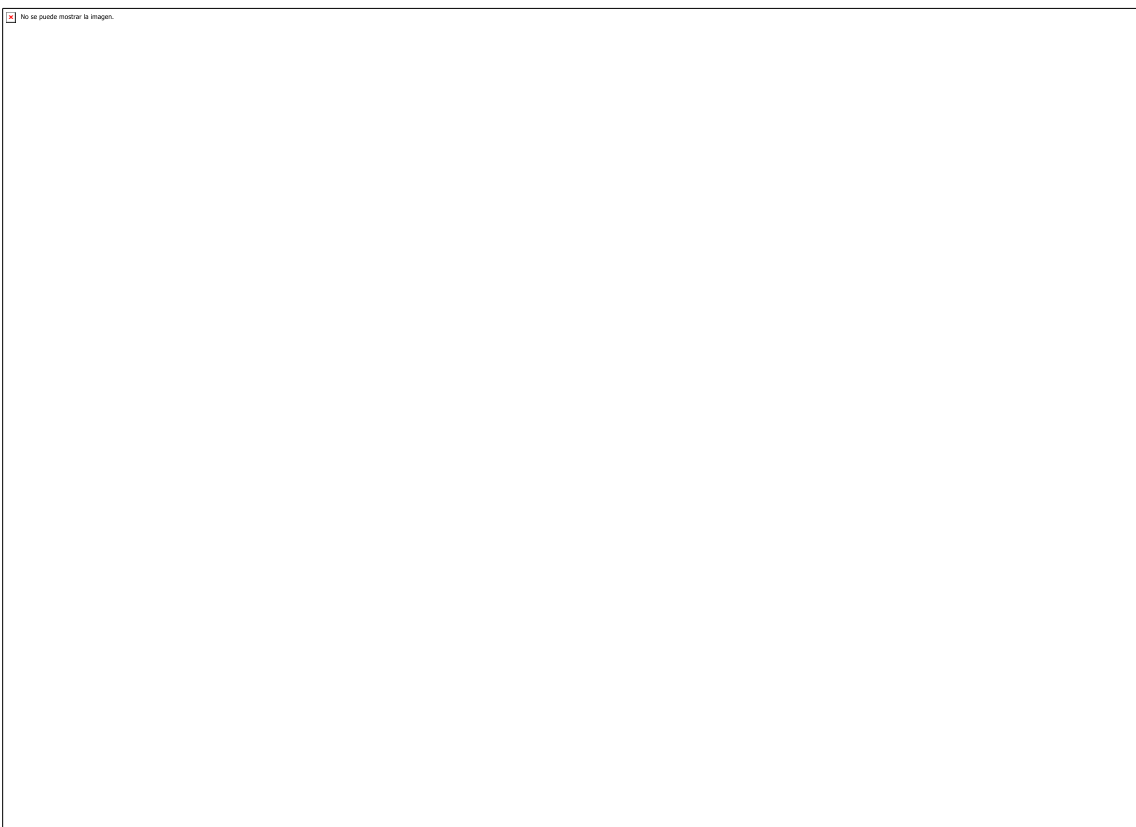
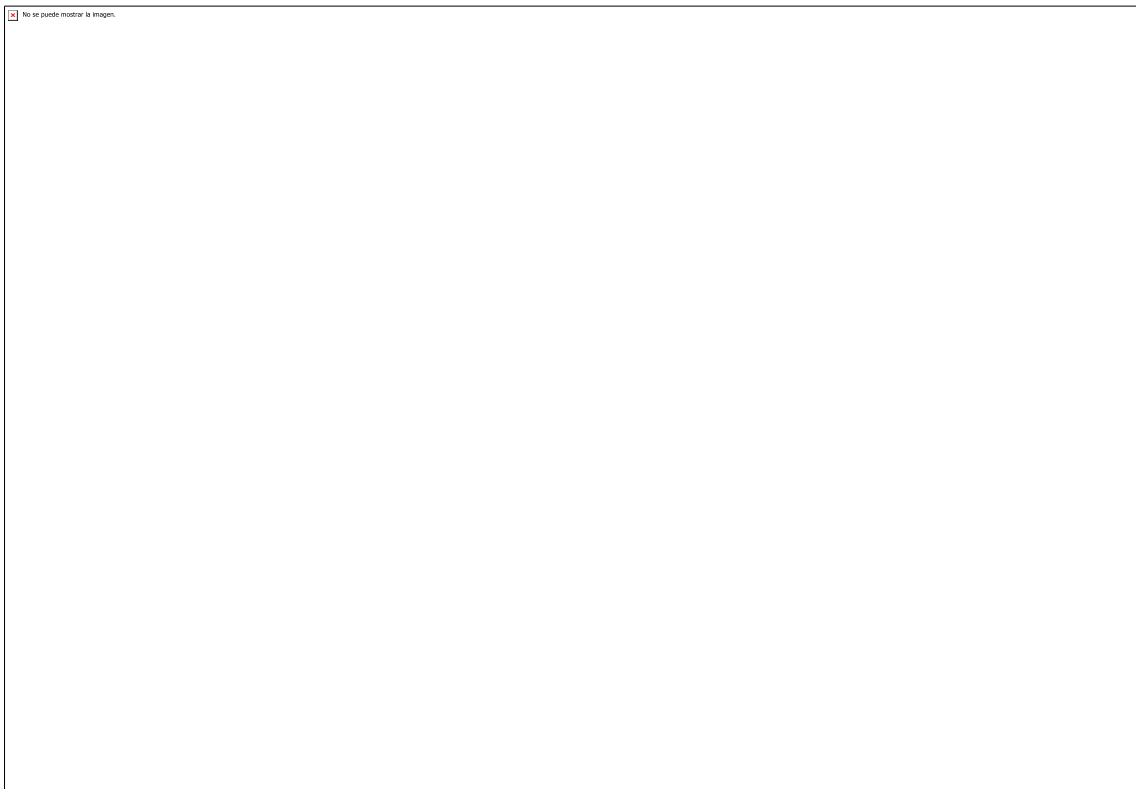
☐ 90 USD

☐ 100 USD

☐ 120 USD

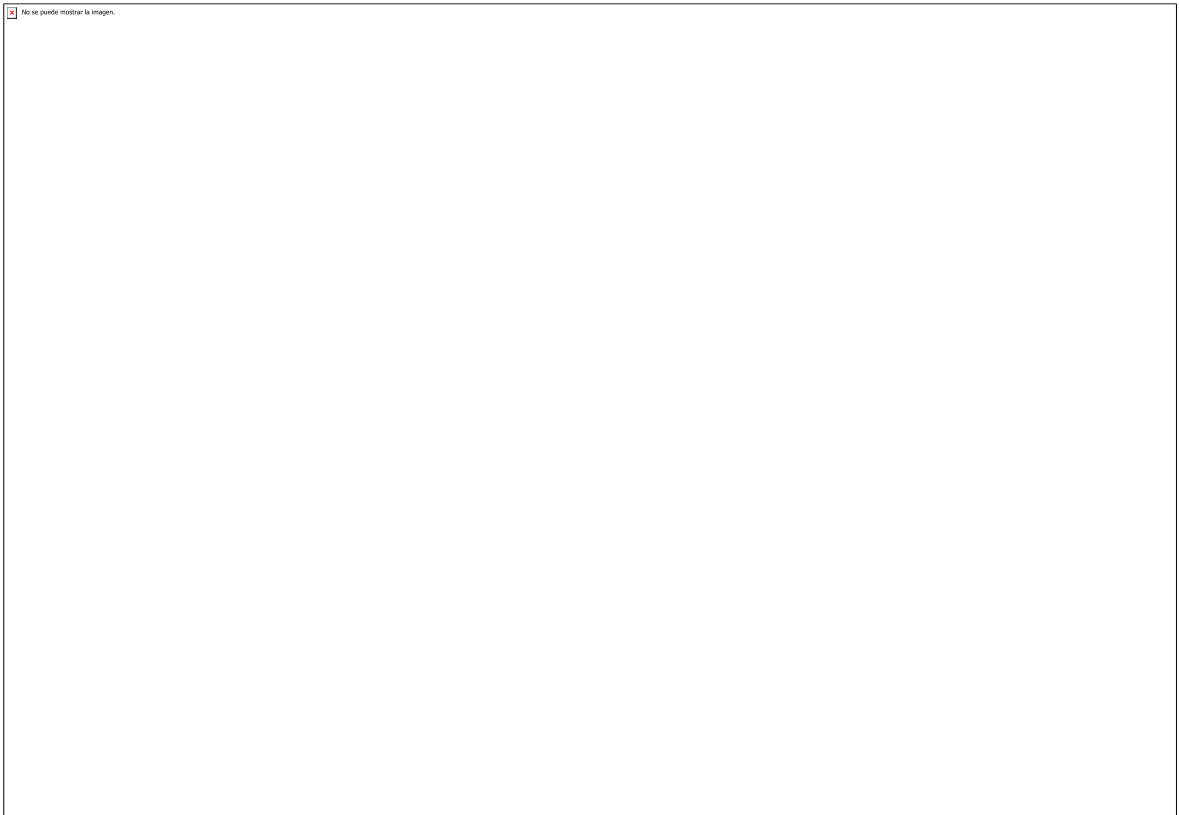


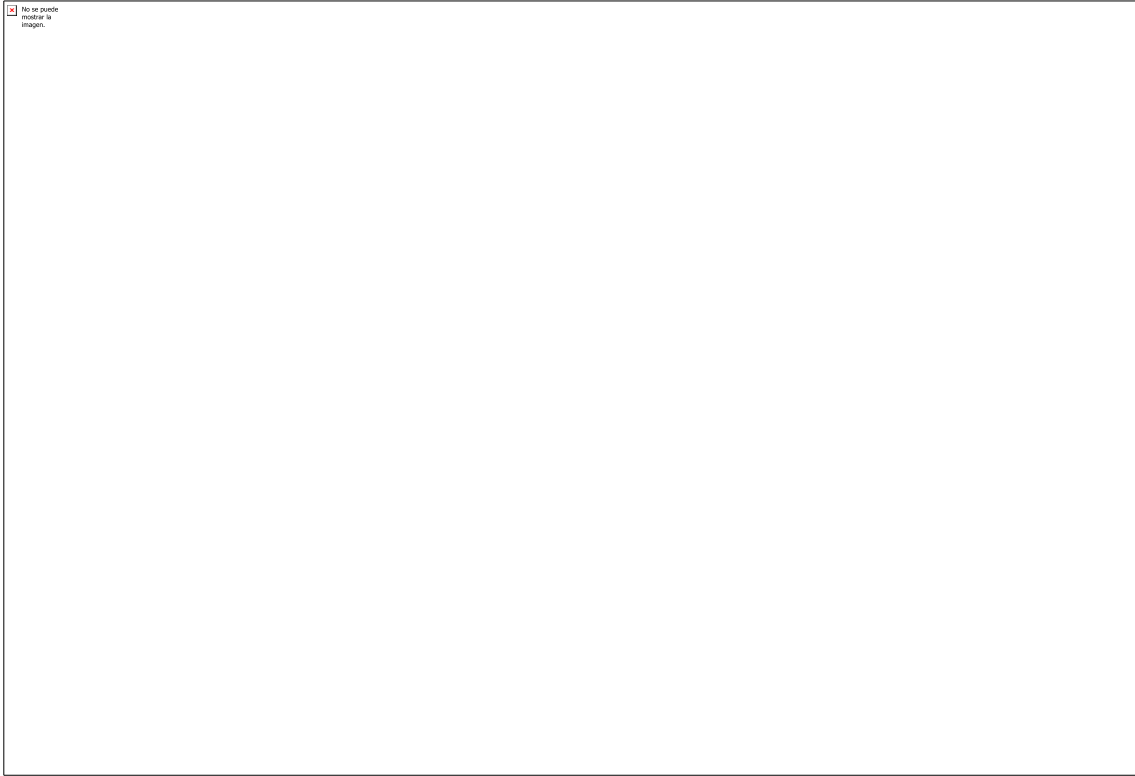


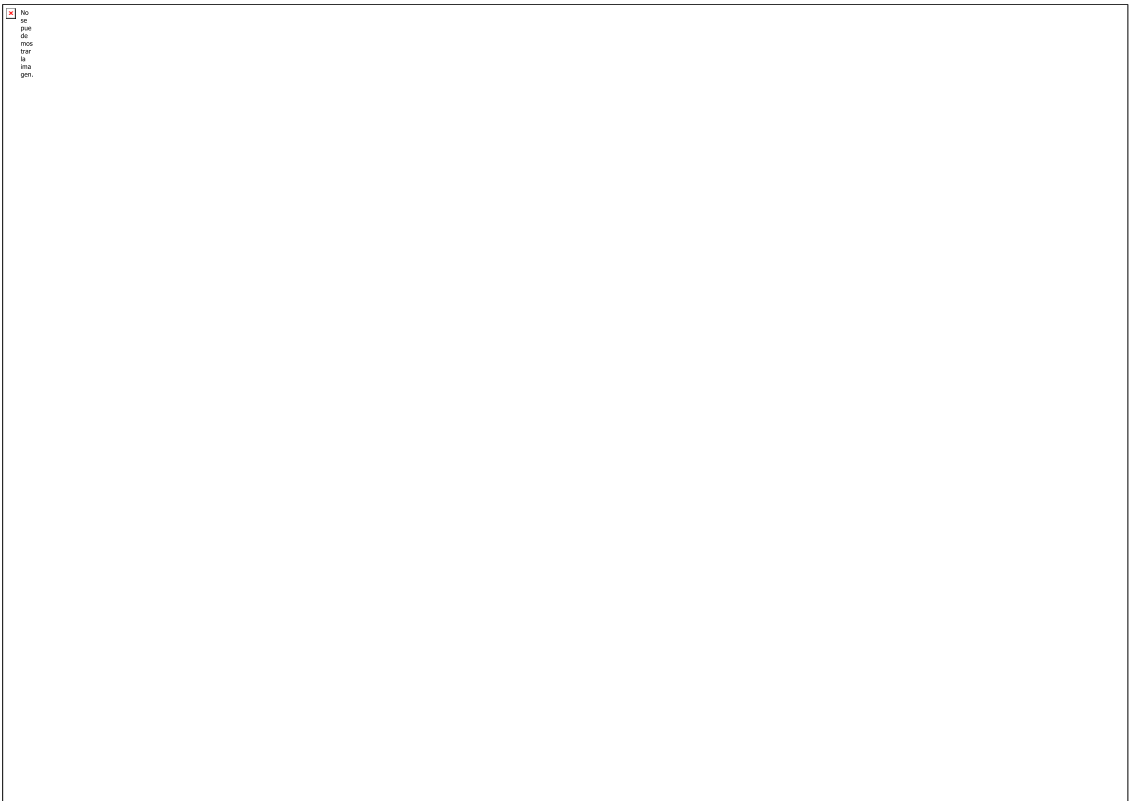


 No se puede mostrar la imagen.

 No se puede mostrar la imagen.









No se puede mostrar la imagen.





