



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de
Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto en la eficiencia del colector plano de las
termas solares Sol y Vida al adaptar una placa
aislante tipo colmena de Abeja-Alto Selva
Alegre-Arequipa-2018**

Phol Jefferson Porras Cunyas

Huancayo, 2019

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Mg. Oscar Paul Huari Vila

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ayudarme a través de aquellas coincidencias, que hicieron posible mi desarrollo personal y profesional según lo que anhelaba realizar hasta el día de hoy.

A la Universidad Continental por brindar una buena enseñanza haciendo posible el desarrollo académico de muchas personas con miras profesionales.

A Innóvate Perú por apoyar el desarrollo del proyecto con toda la parte financiera a través del contrato N° 472-FIDECOM-INNOVATEPERÚ-PIMEN-2016. Además, por brindar el impulso para el desarrollo e innovación de las empresas.

Al gerente general de la empresa “Termas Solares Sol y Vida”, por brindarme una cálida hospitalidad y buen trato, además de la oportunidad de desarrollar este proyecto.

Al Mg. Oscar Paul Huari Vila, por su valioso apoyo incondicional en calidad de asesor de la presente tesis.

Al Ing. Luis Enrique Ojeda Zaga, por su apoyo en la mejora de redacción metodológico de la tesis y por brindar consejos académicos para mejorar mi proyecto de de vida, muy valiosos.

A mi familia por darme buenas lecciones, valores, por apoyarme a ser cada vez mejor y brindarme esta oportunidad de ser profesional.

Finalmente, a todas las personas que han formado parte de mi vida académica y privada a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía, que me brindaron en diversos momentos.

DEDICATORIA

A mi padre por haber luchado tanto para darme la oportunidad de ser profesional, por haberme enseñado valiosos valores desde que era pequeño, ya que gracias a ello hoy en día soy el reflejo de esas enseñanzas.

A mi madre, por corregirme con mano dura en cada mala acción que realicé en el transcurso de mi crecimiento, y alentarme siempre a lograr mis metas.

A mi abuelita, por atenderme, demostrarme su grandioso afecto y preocupación siempre.

A mis hermanos por regalarme su alegría y cariño incondicional en todo momento.

INDICE GENERAL

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema	16
1.2. Problema General.....	19
1.3. Problemas específicos	20
1.4. Objetivos	20
1.4.1. Objetivo General.....	20
1.4.2. Objetivo Específicos	20
1.5. Justificación e importancia.....	21
1.5.1. Ambiental:	21
1.5.2. Social:	24
1.5.3. Técnica:.....	25
1.5.4. Económica:	25
1.6. Delimitaciones.....	26
1.6.1. Espaciales.....	26
1.7. Hipótesis y descripción de variables	27
1.7.1. Hipótesis General.....	27
1.7.2. Hipótesis Específicas	27
1.8. Variables	28

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema	29
2.2. Bases teóricas	36
2.2.1. El efecto invernadero y sus consecuencias	36
2.2.2. Propagación de la energía solar	39
2.2.3. Comportamiento de la radiación solar	41
2.2.3.1. Radiación directa:	42

2.2.3.2.	Radiación difusa:	42
2.2.3.3.	Radiación reflejada o albedo:	42
2.2.3.4.	La radiación global:	43
2.2.3.5.	El espectro electromagnético	43
2.2.3.6.	Constante solar.....	45
2.2.4.	Generación de energía renovable.....	45
2.2.5.	Tipos de transferencia de calor	50
2.2.5.1.	Conducción	50
2.2.5.2.	Convección	51
2.2.5.3.	Radiación	52
2.2.6.	Funcionamiento y composición de una terma solar.....	53
2.2.6.1.	Tanque de almacenamiento	53
2.2.7.	Colector solar plano	55
2.2.7.1.	Cubierta frontal transparente	55
2.2.7.2.	La placa absorbidora y tubería	56
2.2.7.3.	Aislamiento térmico.....	57
2.2.7.4.	Carcasa externa	57
2.2.8.	El efecto invernadero y termosifón en el colector solar	58
2.2.9.	Placa aislante tipo colmena de abeja.....	60
2.2.10.	Inclinación y orientación del colector.....	61
2.2.11.	La constante de tiempo	62
2.2.12.	Eficiencia del colector solar.....	63
2.2.13.	Tiempo solar aparente.....	64
2.3.	Definición de términos básicos	65

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1.	Método y alcance de la investigación	71
3.1.1.	Método general	71
3.1.2.	Método específico.....	71
3.1.3.	Tipo de investigación.....	72
3.1.4.	Nivel o Alcance	72
3.2.	Diseño de la investigación	72
3.3.	Población y muestra	76
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	77
3.4.1.	Técnicas	77
3.4.2.	Instrumentos.....	78

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información	80
4.1.1.	Análisis ANOVA de un solo factor	85
4.1.2.	Análisis de diferencias entre las medias de los grupos	86
4.1.3.	Análisis de residuos	90
4.2.	Prueba de hipótesis	93
4.3.	Discusión de resultados	94
4.3.1.	Análisis ANOVA de un solo factor	95
4.3.2.	Análisis de diferencias entre las medias de los grupos	95
4.3.3.	Análisis de residuos	97
	CONCLUSIONES	98
	RECOMENDACIONES	100
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
	ANEXOS	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	28
Tabla 2. Datos de energía solar y temperatura en Arequipa	43
Tabla 3. Instrumentación en las estaciones meteorológicas	43
Tabla 4. Conductividad térmica de algunos elementos.....	51
Tabla 5. Densidades del agua a diferentes temperaturas	52
Tabla 6. Características de algunos aislantes.	57
Tabla 7. Medias de cada tratamiento y desviación estándar agrupada	85
Tabla 8. Información agrupada utilizando el método de Tukey (95% confianza).....	87
Tabla 9. Información agrupada utilizando el método LSD de Fisher (95% confianza)	88
Tabla 10. Información agrupada utilizando el método de Dunnett (95% confianza).....	89
Tabla 11. Análisis de Varianza	93
Tabla 12 Tabla de cálculo de eficiencia.....	108
Tabla 13 Tabla de organización de datos para posterior prueba estadística	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de trabajo.....	27
Figura 2. Concentración atmosférica media de CO ₂ en la superficie (ppm) a través de los años.....	38
Figura 3. El espectro electromagnético.....	45
Figura 4. Mapa de proyectos de energía renovable en el Perú	49
Figura 5. Mapa de energía solar de Arequipa.....	49
Figura 6. Terma solar.....	53
Figura 7. Tanque vertical	54
Figura 8. Tanque horizontal.....	54
Figura 9. Colector solar plano.....	55
Figura 10. Componentes principales de un colector solar plano.	58
Figura 11. Efecto invernadero en una placa solar plana.	59
Figura 12. Efecto termosifón	60
Figura 13. Principio de funcionamiento de la placa aislante tipo colmena de abeja	61
Figura 14. Ejemplo de una gráfica de eficiencia	64
Figura 15. Configuración de ensayo N°1.	81
Figura 16. Eficiencia del panel normal (n).	83
Figura 17. Eficiencia del panel adaptado con el panel tipo colmena de abeja con configuración vertical (v).....	83
Figura 18. Eficiencia del panel adaptado con la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal (h).....	84
Figura 19. Eficiencia del panel adaptado con ambas placas aislantes tipo colmena de abeja, con configuración horizontal y vertical (hv).	84
Figura 20. Intervalo de eficiencia y tratamientos	86
Figura 21. Gráfica de caja de eficiencia vs tratamientos	86
Figura 22. Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de HSU.....	90
Figura 23. Histograma de residuos.	91
Figura 24. Residuos contra valores ajustados.....	92
Figura 25. Probabilidad normal de residuos.	92
Figura 26. Sensor SB-41	109
Figura 27. Piranómetro SL100 de KIMO instruments.	109
Figura 28. Sensor SB-59.....	109
Figura 29. Controlador.....	109
Figura 30. Flujoímetro LZM-ZT.....	109
Figura 31. Interface CONV32.	109
Figura 32. Cálculo de tiempo solar.....	110
Figura 33. Cálculo de distribución de tiempo para toma	111
Figura 34. Cálculo de constante de tiempo.....	111
Figura 35. Registro de datos y gráficas de eficiencia.	112
Figura 36. Resumen de datos para análisis estadístico.	112

Figura 37. Registro de datos en SITRAD.	113
Figura 38. Datos del 09/12/18 de SITRAD exportados a EXCEL.	113
Figura 39. Foto de colector solar normal.	114
Figura 40. Foto de adaptación de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical.	114
Figura 41. Foto de adaptación de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal al colector solar.	115
Figura 42. Foto de colector solar con placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical adaptado.	115
Figura 43. Foto de prueba de constante de tiempo.	116
Figura 44. Foto de la vista interna del tanque de pruebas.	116
Figura 45. Foto del circuito de los controladores.	116
Figura 46. Instalación de una terma solar Sol y Vida de 120L.	117
Figura 47. Instalación de una terma solar Sol y Vida de doble panel.	117
Figura 48. Instalación de una terma solar Sol y Vida de 90L.	117

RESUMEN

El objetivo de la tesis es determinar el efecto que tiene en la eficiencia del colector plano de las Termas Solares Sol y Vida al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja - Alto selva alegre -Arequipa – 2018. Para ello se planteó la hipótesis general siendo esta que al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja genera un efecto positivo en la eficiencia del colector plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018. En el estudio se aplicó un diseño experimental. Todo el trabajo se realizó en prototipos fabricados por la empresa Termas Solares Sol y Vida, un colector normal (n), y otros con la placa aislante tipo colmena de abeja, un colector con placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical (v) ubicado entre el vidrio y la placa absorbadora; otro colector con placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal (h) ubicado entre la placa absorbadora y el aislante; finalmente un colector con ambas configuraciones de placa aislante tipo colmena de abeja (hv). En cada tratamiento se evaluó la eficiencia siguiendo pautas de la norma técnica peruana NTP 399.400 2001 y la norma ASHRAE 2003. Se concluyó que, al adaptar una placa tipo colmena de abeja, existe diferencia entre las medias evaluadas, siendo la mayor de estas la de hv 3 con una media de 0.695, lo que significa una eficiencia de 69.5%, que corresponde al tratamiento de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical y horizontal. También se realizaron pruebas post – hoc en donde se observó la diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos. Se concluyó que el uso de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical si influye de manera positiva y significativamente aumentando la eficiencia del colector en 8%, por otro lado, el uso de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal también incrementa la eficiencia del colector de manera positiva en 1%. Del mismo modo los residuos obtenidos se concentran dentro de ± 5 y así se puede considerar que todo el procedimiento de experimentación fue consistente. Finalmente, se

concluyó que el uso de las placa aislante tipo colmena de abeja mejora la eficiencia del colector plano de las Termas Solares Sol y Vida.

Palabras claves: Placa aislante tipo colmena de abeja, eficiencia

ABSTRACT

The objective of the thesis is to determine the effect it has on the efficiency of the flat collector of Termas Solares Sol y Vida to adapt an insulating plate type beehive – Alto Selva Alegre -Arequipa - 2018. For this the general hypothesis adaptation of an insulating beehive plate that generates a positive effect on the efficiency of the flat solar collector of Sol and Vida - Alto Selva Alegre - Arequipa 2018. An experimental design is applied in the study. All the work was carried out in prototypes manufactured by the company Termas Solares Sol y Vida, a normal collector (n), and others with the bee hive type plate, a collector with insulate plate type honeycomb with vertical configuration (v) located between the glass and the absorber plate; another collector with insulate plate type honeycomb with horizontal configuration (h) located between the absorber plate and the insulator; Finally a collector with both insulate plate type honeycomb configurations horizontal and vertical (hv). In each case, the efficiency was evaluated following the guidelines of the Peruvian technical standard NTP 399.400 2001 and the ASHRAE 2003 standard. It was concluded that, when adapting a honeycomb type plate, there is a difference between the evaluated means, being the highest of these hv 3 with a mean of 0.695, which means an efficiency of 69,5%, which corresponds to the insulate plate type honeycomb treatment horizontal and vertical. Post-hoc tests were also performed where the significant difference between each of the treatments was observed. It was concluded that the use of insulating plate type honeycomb with vertical configuration has increased the collector frequency by 8%, on the other hand, the use of insulating plate type honeycomb with horizontal configuration also increases collector efficiency positively by 1%. The same way the waste is concentrated within ± 5 and thus it can be considered that the whole experimentation procedure was consistent. Finally, it was concluded that the use of insulating plate type honeycomb improves the efficiency of the flat solar collector of the Termas Solares Sol y Vida.

Keywords: Honeycomb insulating plate, efficiency

INTRODUCCIÓN

Debido los problemas ambientales, productos de la revolución industrial, el uso indiscriminado de los recursos naturales, y centralización en el desarrollo únicamente enfocados en lo económico e industrial. Provocaron un incremento de gases del efecto invernadero, que poco a poco empezó a influir en el clima, y generó un cambio climático global. Tuvieron que pasar fenómenos de deglaciación y otros desastres naturales anormales, para que el hombre tome conciencia del cuidado de la naturaleza, y como una alternativa de solución, surgieron las energías renovables; ya que estos permiten la continuidad de uso de energía pero con un impacto ambiental mucho menor y en algunos casos nula.

El impulso para realizar este proyecto fue, ayudar a fomentar el uso de las energías renovables, ya que hoy en día gran parte de nuestro país no entiende lo rentable y beneficioso que resulta la utilización de estas energías. Aún con el Decreto Legislativo N° 1002 aprobado en mayo del 2008, que tuvo como objetivo impulsar el desarrollo de las Energías Renovables. Asimismo, el decreto señaló que cada 5 años, el Ministerio de Energía y Minas debería establecer un nuevo porcentaje de participación de las energías renovables en la matriz energética, pero esto no ocurrió. Por otro lado, otro impulsor del proyecto es el desarrollo tecnológico, investigación y buscar una mejora constante en la fabricación de productos; en este caso con la empresa Termas Solares Sol y Vida, todo esto gracias al financiamiento de Innóvate Perú por apoyar el desarrollo del proyecto a través del contrato N° 472-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2016.

Esta tesis tiene un contenido de cuatro capítulos. El primer capítulo describe el problema de investigación, sus objetivos, hipótesis, la justificación e importancia, y las variables. El segundo capítulo contiene a los antecedentes sobre termas y colectores solares, los fundamentos teóricos de radiación solar, transferencia de calor por conducción, convección

y radiación, ecuaciones para el desarrollo de la investigación, y definiciones conceptuales. En el tercer capítulo se describe la metodología, el tipo, nivel, diseño de investigación utilizado, las técnicas e instrumentos para la recolección y procesamiento de datos. En el cuarto capítulo se realiza el procesamiento de datos, se contrasta las hipótesis y se realiza la discusión de los resultados obtenidos.

Finalmente se espera que esta investigación contribuya con la difusión del uso de energías renovables ya que nos encontramos en un país muy centralizado tanto en población como en generación de energía.

El Autor

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

A finales del siglo XVIII, en donde crecía una necesidad de aumentar la producción para generar mayores ingresos económicos, se llevaron a cabo muchos experimentos para generar energía que utilizaban el vapor como fuente, pero luego de casi cien años se construyó la primera "Máquina de Vapor" por James Watt. Este gran invento cambió la forma de trabajo de gran parte del mundo, puesto que se empezó a utilizar la energía generada por vapor para mover maquinarias, lo que produjo un abandono de los campos y de las industrias domésticas, entonces, la interrelación hombre-naturaleza quedó cambiada a partir de ese momento, ya que la nueva idea central fue que el hombre debe dominar, poseer y someter a la naturaleza. "Los surgimientos de estas ideas apuntan a capacitar y aumentar el poder de la sociedad,

como fortalecer e incrementar sus fuerzas productivas, con ello llega la Revolución Industrial". (1)

Desde 1789 con el inicio de la Revolución Industrial, fueron más de 150 años de Indiferencia Ecológica. La "violencia ecológica" término usado por Miriam Alfie (1998) en su artículo Violencia Ecológica vs. Desarrollo sustentable, en donde lo usa para referirse a: La devastación que el hombre ejerce sobre los recursos renovables, no renovables, sobre las especies animales y vegetales, así como sobre suelo, subsuelo, aire y cuerpos de agua. (2) Desde ese año la violencia ecológica fue enorme, y no se realizó ningún esfuerzo significativo para evitarla o controlarla. Desde entonces pasaron más de 150 años de depredación irracional e inmisericorde de la tierra, que estaba justificada por un modelo de crecimiento que no era sustentable y que poco a poco iba atentando contra la propia humanidad. Aunque ya hacia finales de los años 50's y principios de los 60's, la violencia ecológica se tomó en cuenta y se empezó a realizar varios análisis y planteamientos que fundamentaban la tendencia exponencial de extinción de recursos naturales y su degradación , no es sino hasta la década de los 70's, en donde los problemas a consecuencia de la violencia ecológica empezaron a manifestarse en todos los ámbitos, que la humanidad tuvo que comenzar a reflexionar y buscar por un lado, formas alternativas de crecimiento y desarrollo económico que eviten continuar con los procesos de deterioro ambiental, y por otro, mecanismos que coadyuven a la recuperación y saneamiento del medio ambiente. El interés por la protección y cuidado ambiental fue relegado durante más de 150 años, siendo hasta 1970 cuando fuertes cuestionamientos sobre devastación ambiental empiezan a surgir, dando origen a programas y planes de gran envergadura, que ocupan importantes niveles en conferencias internacionales y al interior de organismos mundiales, como es el caso de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la

Organización de las Naciones Unidas (ONU). Es la década de los ochentas la que marca el reinicio y la revitalización de la lucha regional e internacional contra la contaminación, siendo el año de 1987 de vital importancia en tal proceso, marcándose en esta fecha la publicación del informe más trascendental de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, intitulado informe Brudtland. Este informe tuvo en el planteamiento del Desarrollo Sustentable su base principal y su esencia. (3)

Entonces las energías renovables fueron más impulsadas como una alternativa de crecimiento y desarrollo económico pero que eviten continuar con el problema de la contaminación, este tipo de energía proviene de fuentes naturales como el viento, la luz solar, la lluvia, las plantas, las mareas, y el calor geotérmico, que son consideradas como fuentes inagotables, puesto que se reponen naturalmente. A diferencia de otras fuentes de energía como los combustibles fósiles que demoran millones de años en desarrollarse y que por ende son una fuente de energía finita.

Por otra parte, el uso de combustibles fósiles genera un fuerte impacto ambiental pues producen contaminantes como subproducto, que contribuyen al cambio climático, el principal contaminante es el CO₂. Además, en la mayoría de casos, para el acceso a estos combustibles fósiles se requiere de perforación profunda en la tierra, que a menudo son los lugares ecológicamente sensibles y en el caso del Perú la parte más afectada es el Amazonas.

En el año de 1767 en Suiza sucedió un hecho fundamental en la historia de la energía solar térmica, Horace de Saussure inventó lo que se denominó Caja Caliente. Saussure conocía el efecto invernadero que se produce en todo espacio cerrado que cuenta con una apertura acristalada por donde entra la radiación solar y decidió potenciar al máximo el efecto para comprobar hasta que temperaturas se lograba

alcanzar, en cuya experimentación llegó a 109 °C. (1) Actualmente podemos considerar a la energía solar térmica como una tecnología fiable y que va madurando cada vez más, pues las inversiones realizadas, en general, son amortizables; por otra parte, es una tecnología alternativa que es respetuosa con el ambiente. Si consideramos la cantidad de consumidores de Gas Licuado de Petróleo (GLP), la generación de gases contaminantes será proporcional a ello, pero si hacemos uso de la energía solar térmica para obtener agua caliente, no se emitirán contaminantes. Además, por cada sistema nuevo de energía solar instalado, se da un paso que nos lleva a un ambiente con menos contaminación y que cada vez se hace más sostenible.

En la actualidad en la ciudad de Arequipa, la ciudad de las “Termas Solares” existen más de 40 fabricantes, tiene más de 70000 sistemas de agua caliente sanitaria instaladas (4) las cuales fueron confeccionadas de manera técnica y artesanal. La empresa Termas Solares Sol y Vida emplea una baja tecnología en la fabricación de las termas solares. Como consecuencia, la rentabilidad de la empresa se ve afectada, generando ganancias en un 50% menor que las de otras empresas del rubro, por ello se pretende mejorar la eficiencia, para mejorar la competitividad de la empresa y contribuir a la mejora de la tecnología de energías renovables para contribuir al desarrollo sostenible.

1.2. Problema General

¿Qué efecto tiene al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018?

1.3. Problemas específicos

- ¿Qué efecto tiene adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018?
- ¿Qué efecto tiene adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración horizontal en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018?
- ¿Qué efecto tiene adaptar ambos tipos de configuración de placas aislantes tipo colmena de abeja en la eficiencia en el colector plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018?
- ¿Cuál es la eficiencia del colector plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar el efecto al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018.

1.4.2. Objetivo Específicos

- Determinar el efecto al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida - Alto Selva Alegre - Arequipa 2018.

- Determinar el efecto al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración horizontal en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida - Alto Selva Alegre - Arequipa 2018.
- Determinar el efecto al adaptar ambos tipos de configuración de placas aislantes tipo colmena de abeja genera una mayor eficiencia en el colector plano de las Termas Solares Sol y Vida - Alto Selva Alegre - Arequipa 2018.
- Determinar la eficiencia del colector plano de las Termas Solares Sol y Vida - Alto Selva Alegre - Arequipa 2018.

1.5. Justificación e importancia

1.5.1. Ambiental

Actualmente en nuestro país la generación de energía depende una mitad de las centrales hidroeléctricas y la otra mitad del gas natural. (5) principales de la generación de los Gases de efecto invernadero (GEI), por ello una buena alternativa es el uso de las energías renovables, las cuales promueven el protección del ambiente, y el impacto que se genera es mucho menor que las otras fuentes de energía convencionales.

Las energías renovables las cuales provienen de fuentes naturales como el viento, la luz solar, la lluvia, las plantas, las mareas, y el calor geotérmico, son consideradas como fuentes inagotables, puesto que se reponen naturalmente. A diferencia de otras fuentes de energía como los combustibles fósiles que demoran millones de años en desarrollarse y que por ende son una fuente de energía finita.

Además, las energías renovables están fácilmente disponibles en todo el mundo, incluso en áreas rurales y remotas que de otra manera no tienen acceso a la electricidad. Los avances en las tecnologías de energía renovable han reducido el costo de los paneles solares, turbinas eólicas y otras fuentes de energía, y ponen la capacidad de producir electricidad en manos de las personas en lugar de las de las compañías de petróleo, gas, carbón y servicios públicos. “Utilizar la radiación solar para producir calor o electricidad no disminuye en ningún caso la cantidad de energía que el Sol envía a la Tierra.” (1).

Cabe resaltar que dentro de los objetivos de la Agenda 2030 (2016) y los objetivos de desarrollo sostenible, se encuentran el objetivo siete, el cual trata sobre garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. De acuerdo con la Agenda 2030 (2016) se afirma que de aquí al 2030 se debe:

- Garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.
- Aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
- Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
- Aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.

- Ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo. (6)

Actualmente podemos considerar a la energía solar térmica como una tecnología fiable y que va madurando cada vez más, pues las inversiones realizadas, en general, son amortizables; por otra parte, es una tecnología alternativa que es respetuosa con el ambiente. Además, por cada sistema nuevo de energía solar instalado es un paso que nos lleva a un ambiente con menos contaminación y que cada vez se hace más sostenible.

Al usar las termas solares, las cuales solo necesitan energía solar para su funcionamiento en vez de termas a base de GLP (Gas licuado de petróleo) o termas eléctricas por ejemplo, se logra disminuir en el uso de combustibles fósiles lo cual representa un menor número de emisiones de CO₂ (7), gas principal de los GEI, causantes del calentamiento global.

Por otra parte, el mayor problema que tiene la energía solar es que no es constante debido a la nubosidad y otros factores climáticos; para solucionar ese inconveniente muchas veces se crea un sistema dual, el cual consiste en poner una resistencia eléctrica en el tanque de almacenamiento de la terma solar o un sistema a base de gas, para calentar el agua en caso de que no se alcance la temperatura deseada solo con la energía solar. Pero si el colector solar es de mayor eficiencia, ya no sería necesario implementar este sistema adicional, y de esta manera se anularía por completo el uso de la energía eléctrica o gas, para

ello. Además, si el colector solar tiene una mayor eficiencia, también se amplía la posibilidad de su uso en lugares con climas más variados.

Además, está establecido en la Lista de medidas de mitigación al cambio climático del estado peruano, que se debe de “reemplazar los calentadores eléctricos por calentadores solares de agua.” (8)

1.5.2. Social

Actualmente, el 80% de la electricidad se produce en el centro del país. Además de ello existe una gran desventaja para las otras regiones debido al gran costo de se genera para trasladar la energía hacia las regiones del norte y el sur, es por ello por lo que la mayoría de las empresas prefieren establecerse en Lima puesto que tiene una fuente de energía segura para sus operaciones. El norte del Perú tiene un altísimo potencial para la generación de energía solar y eólica, y la parte sur tiene un gran potencial para la generación de energía solar y geotérmica. (9)

Según una encuesta realizada en Arequipa acerca del cambio climático y la intención de adquirir productos que cuiden el medio ambiente. La disposición de la población arequipeña por comprar artículos o instrumentos de uso cotidiano que contribuyan a luchar contra los efectos del cambio climático es en general positiva, (10) mostrándose una mayor intención de adquirir focos ahorradores en remplazo de los focos tradicionales. En general, existe una tendencia relacionada a los productos que más conocen y que podrían ser económicamente accesibles como el consumir alimentos orgánicos, adquirir termas solares, paneles solares y bombas de agua con energía solar.

Al usar termas solares se impulsa la descentralización del uso y generación de energía e impulso del uso de la energía solar para un mayor aprovechamiento, ya que las fuentes primarias en nuestro país son las fuentes hidroeléctricas y los hidrocarburos. “La región latinoamericana es abundante en potencial de energías renovables y se constituye actualmente como la región del planeta con mayor participación de las fuentes convencionales” (11)

1.5.3. Técnica

Según estudios previos realizados como por los de la empresa TIGI Solar, con el uso de la colmena de abeja la eficiencia del colector solar aumenta, ya que el aislante en forma de colmena de abeja es completamente transparente a la luz del sol, por lo que no interfiere con la captación de haces lumínicos a través de la placa absorbente del colector. Su función es suprimir la convección y las pérdidas de calor por conducción, puesto que el flujo queda restringido al espacio de aire entre esta capa y la superficie absorbidora de energía (12)

1.5.4. Económica

A través de unos esquemas de incentivos financieros, en forma de subvenciones directas han desempeñado un papel importante en el desarrollo de los principales mercados de la energía solar térmica en Europa (Alemania, Austria y Grecia). En Francia, una reducción del impuesto sobre la renta ha provocado un rápido crecimiento en el mercado desde el año 2005. (13)

El uso de energía solar tiene un costo bajo a diferencia de un pago mensual por otras energías convencionales como las termas eléctricas o las que funcionan a gas, puesto que solo se realiza un inversión, también resulta más

eficiente en términos energéticos calentar agua para uso sanitario por medio de la energía solar. (14)

Arequipa, la ciudad de las “Termas Solares” existen más de 40 fabricantes, tiene más de 70000 sistemas de agua caliente sanitaria instaladas las cuales fueron confeccionadas de manera técnica y artesanal (4). La empresa Termas Solares Sol y Vida en Arequipa emplea una baja tecnología en la fabricación de las termas solares. Como consecuencia, la rentabilidad de la empresa se ve afectada, generando ganancias en un 50% menor que las de otras empresas del rubro, por ello se pretende mejorar la eficiencia, para mejorar la competitividad de la empresa.

Teniendo en cuenta la alta competitividad que existe en el mercado de termas solares en Arequipa (4), si se logra demostrar la mejora de sus colectores solares al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja entonces la empresa Termas Solares Sol y Vida, podrá competir ventajosamente con otras al presentar un producto de mayor eficiencia.

1.6. Delimitaciones

1.6.1. Espaciales

El trabajo de investigación se ejecutó en Francisco Mostajo N° 1187, Distrito Alto Selva Alegre, Arequipa. Con coordenadas UTM: zona 19K 230754.07 m E de coordenadas Este y 8189282.54 m S de coordenadas Norte.

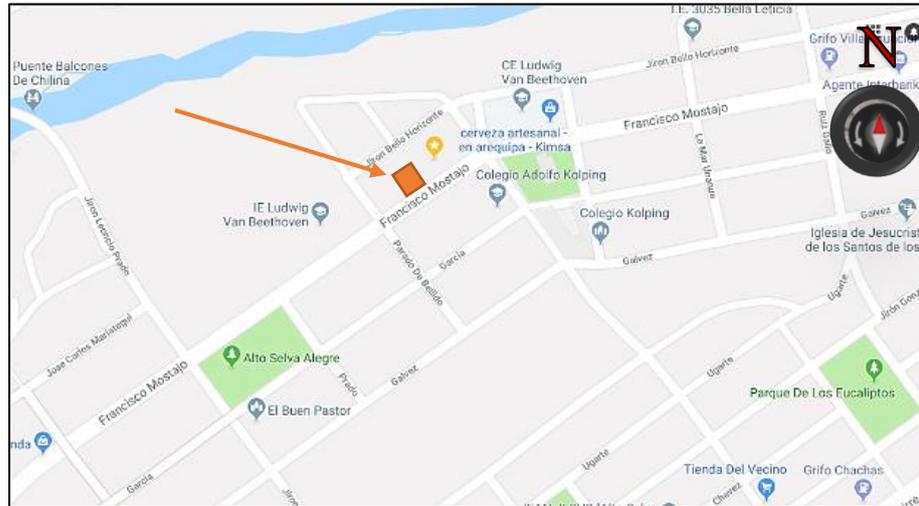


Figura 1. Mapa de ubicación de trabajo

1.7. Hipótesis y descripción de variables

1.7.1. Hipótesis General

Al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja logrará generar un efecto positivo en eficiencia del colector plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- Al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical se logrará generar un efecto positivo en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018.
- Al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración horizontal se logrará generar un efecto positivo en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018.
- Al adaptar ambos tipos de configuración de placas aislantes tipo colmena de abeja se logrará generar la mayor eficiencia del colector plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alto Selva Alegre – Arequipa 2018.

1.8. Variables

- **Variable dependiente:** Eficiencia del colector solar plano.
- **Variable independiente:** Placa aislante tipo colmena de abeja vertical y horizontal.

Tabla 1.
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Categoría y dimensiones	Definición	Indicadores
VI: Placa tipo colmena de abeja	“Permite la máxima captación de energía solar para calentar la placa de absorción del colector; crea una capa de aire que no puede circular, lo que reduce drásticamente las pérdidas relacionadas con la convección” (15)	Placa tipo colmena de abeja con configuración vertical. (m ²)	Plancha de policarbonato transparente con agujeros en forma de colmena de abeja que van de la parte superior hasta la inferior.	Tamaño de la placa tipo colmena de abeja configuración vertical
		Placa tipo colmena de abeja con configuración horizontal. (m ²)	Plancha de policarbonato transparente con agujeros en forma de colmena de abeja que van de un lado a otro.	Tamaño de la placa tipo colmena de abeja configuración horizontal
VD: Eficiencia del colector solar plano	“Es la cantidad de energía removida por el fluido portador de calor por unidad de área bruta del colector durante el periodo de tiempo especificado y dividida por la radiación solar global incidente en el colector por unidad de área durante el mismo periodo de ensayo, bajo condiciones estacionarias o cuasi estacionarias” (16)	Es la relación entre la energía absorbida (W/m ²) por el fluido portador del calor y la energía incidente (W/m ²).		n = Energía absorbida / Energía solar incidente

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

En el año 2001 se publicó el D.S N 074-2001-PCM el cual es un Reglamento de estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Aire, cuyo objetivo es la de proteger la salud poblacional, mediante estrategias para alcanzar los estándares progresivamente. Luego con la finalidad de cumplir con ello en el 2003 se inicia el Sub Programa IM-07: Inventarios Locales de Gases Contaminantes, cuyo objetivo fue identificar las principales fuentes de emisión de gases contaminantes, de la misma manera la contribución de estos gases en las emisiones totales de las ciudades seleccionadas, y disponer de una línea base de datos de las emisiones atmosféricas locales. En dicho informe se establecen las fuentes puntuales como el sector industrial e institucional; y las fuentes de área como el sector comercial, de servicios y municipal. En donde según

el informe existen en la cuenca atmosférica de Arequipa un total de 64 establecimientos dedicados al servicio de sauna. Su operación consiste en la generación de vapor con el empleo de calderos, que emplean como combustibles los siguientes, el carbón bituminoso con un consumo promedio de 18.4 Ton/año y leña con un 5.1 Ton/año. Además, en dicho informe, se puede apreciar que el contaminante más abundante en peso es el monóxido de carbono (CO) que alcanza 31910 Ton/año, seguida de PTS con 13249 Ton/año, NOx con 9185 Ton/año, SO₂ con 7116 Ton/año, COV con 6726 Ton/año, PM - 10 con 2841 Ton/año y Pb con 99 Ton/año. (17) En vista de este problema en Arequipa se adaptaron políticas ambientales para combatir la contaminación ambiental, una de esas medidas fue fomentar el uso de las energías renovables para mitigar las emisiones generación de contaminantes de GEI.

Según el informe de calidad ambiental del aire del 2014, cuyos monitoreos fueron realizados por DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental), SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) y OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). La ciudad de Arequipa está considerada como una zona de atención prioritaria, cuyas fuentes principales de contaminación son ladrilleras, cementeras, parque automotor. En donde muestra que Arequipa presenta una concentración de SO₂ de 24.4 µg/m, correspondiente a una categoría mala en el INCA (Índice de Calidad del Aire). (18)

Según la ONU una persona gasta 100 L de agua en la ducha durante 5 min de ducha. (19) Claro que este dato es un promedio global, y este dato va a variar dependiendo del flujo de agua que se tenga en casa. Por ejemplo, en Perú "Una familia de cuatro personas debería consumir un máximo de 20 m³ mensuales. Si abrimos la ducha por quince minutos, son al menos 60 L los que se están consumiendo", (20)

En el artículo científico de (PLACCO y otros. 2008) que tiene como título “Colectores solares para agua caliente”, esta investigación es relevante para para la tesis ya que nos indica que “Una vivienda unifamiliar (2 m² de captadores) puede evitar la emisión de 1,5 tn de CO₂ al año. Un hotel con capacidad para 400 personas (580 m² de captadores) puede evitar 128 tn de CO₂ al año” (13).

En el artículo científico de (MASSIPE y otros. 2007), que tiene como título “Colectores solares integrales con cubierta placa aislante tipo colmena de abeja en el clima de España”, en esta investigación es relevante para la tesis porque el objetivo fue comparar el comportamiento térmico de colectores solares convencionales como el de termosifón, tubos al vacío y plano en régimen forzado con el comportamiento térmico de colectores integrales con cubierta placa aislante tipo colmena de abeja, en el clima de cinco localidades de España. La investigación presenta como resultado que los colectores solares integrales se comportan igual de bien que los colectores planos, y ligeramente inferior a la de tubos al vacío; además el colector solar integral tubular, presenta mejores resultados en todos los casos que el colector solar integral rectangular, y que la causa de esto podría ser por el mayor grado de estratificación que presenta el colector solar integral tubular. Esta investigación concluye que la aplicación de colectores solares integrales, con una cubierta de vidrio y además de ello la placa aislante tipo colmena de abeja como una lámina de material aislante transparente, otorgan una mejora en los sistemas solares de abastecimiento de agua caliente sanitaria. (21)

En el artículo científico de (ABDULLAH y otros. 2003), que tiene como título “Eficiencia térmica del colector solar de placa plana que utiliza varias disposiciones de panel compuesto” esta investigación fue relevante para la tesis ya que objetivo consistió

en realizar una investigación experimental sobre la eficiencia de un colector solar equipado con una placa aislante tipo colmena de abeja de distintos arreglos, se prueban seis disposiciones de la unidad de placa aislante tipo colmena de abeja individual, con huecos inferiores de 0, 3, 8, 14, 22 y 36 mm. Los resultados de la investigación fueron que la disposición de la placa aislante tipo colmena de abeja sencillo con un espacio inferior de 3 mm es la óptima, ya que ofrece la mayor eficiencia entre todas las disposiciones y el menor coeficiente de pérdida de calor entre las otras disposiciones, por otra parte la comparación de los resultados obtenidos para unidades de panel simples y dobles reveló que un colector solar compuesto en forma de panel con huecos de aire del grosor correcto por encima y por debajo de la placa aislante tipo colmena de abeja individual mejora considerablemente el rendimiento del colector. El trabajo concluye en que el uso de nido de abeja en colectores solares tiene el beneficio de reducir la pérdida de calor superior y que a menos que se logre un diseño adecuado del panel, el panel puede deteriorar el rendimiento del colector aparte del material de panel y las relaciones de aspecto, el diseño adecuado implica un grosor adecuado del panel y un grosor de separación apropiado por encima y por debajo del panel. Otra de las conclusiones fue que la comparación del mejor rendimiento de los colectores con unidades de panel simples (16 mm) y dobles (32 mm) reveló que la primera produce una mayor eficiencia que la segunda en toda la gama de condiciones de operación. (22)

En el artículo científico de (MONTROYA y otros. 2011), titulada “Evaluación de un calentador solar de agua de acuerdo con la Norma Técnica Peruana”. En esta investigación fue relevante para la tesis porque su objetivo consistió en evaluar un calentador solar de placa plana que es normalmente comercializado en la región Arequipa, la evaluación se realizó siguiendo exigencias de la Norma Técnica Peruana (NTP 399.400-2001). Las conclusiones de trabajo fueron; la eficiencia obtenida es de

60,4 % tras evaluar el colector, esto debido a un bajo factor de remoción. El valor de coeficiente global de pérdidas fue de $19,92 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Respecto a la velocidad de enfriamiento del cual se concluye que hay una relación de 2 a 1 con respecto a la velocidad de enfriamiento del medio ambiente entre las 15:00 y el día siguiente a las 07:40 horas siendo los valores $0,83 \text{ }^\circ\text{C/hora}$ y $0,43 \text{ }^\circ\text{C/hora}$ respectivamente. (23)

En el artículo científico de (CAMAYO y otros. 2015), que tiene como título “Laboratorio de ensayos de colectores solares térmicos y radiación solar”, la investigación fue relevante para la tesis porque su objetivo consistió en realizar una evaluación de los componentes necesarios para un laboratorio teniendo en cuenta su identificación y dimensionamiento para realizar los ensayos correspondientes para obtener el comportamiento térmico de colectores solares de igual manera con las estaciones meteorológicas y actinométrica; las cuales sirven para registrar datos de radiación solar en sus tres componentes, así como las magnitudes físicas medioambientales de interés. En cuyos resultados en base a los catálogos y manuales obtenidos de diversos proveedores y las exigencias planteadas por los investigadores, muestran un listado de los componentes necesarios y adecuados para el uso en la medición de eficiencia. (24)

(FLORES C. 2014) realizó una investigación de tesis titulada “Evaluación técnica y económica de sistemas de calentamiento solar de agua para servicios comerciales en la ciudad de México”. México D.F. Tesis de Maestría, UNAM. Esta tesis fue relevante para la tesis ya que tuvo como objetivo analizar un sistema de calentamiento solar de agua de un restaurante ubicado en la Ciudad de México y realizar una comparación, incluyendo ahorros energéticos y económicos. La investigación presentó las siguientes conclusiones.

1. El análisis del sistema de calentamiento de agua sanitaria del restaurante es un sistema sobredimensionado respecto al almacenamiento de agua con 9000 L, respecto a los 6000 L que es la capacidad de producción de agua caliente obtenida.
2. La temperatura que alcanza el agua es de 60 °C; por otra parte, la tubería de alimentación no se encuentra aislada lo que provoca pérdidas importantes de calor.
3. El ahorro de GLP respecto al total fue de 12.13%, y en contraparte existe un aporte solar del 71.75%.
4. Finalmente, la incorporación de sistemas solares de calentamiento de agua presenta grandes oportunidades de reducción de consumos de GLP, costos asociados en los sistemas convencionales y reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera. (14)

(HUARI N. 2015) realizó una investigación de tesis titulada “Los factores de calentamiento y su influencia en el rendimiento de una terma solar”. Tesis de titulación. Huancayo. UCCI. Esta tesis fue relevante ya que tuvo como objetivo determinar la influencia de los factores de calentamiento en el rendimiento de un prototipo de terma solar. En el desarrollo se presentan paso a paso la experimentación de tipo factorial 2⁴ en donde evalúa factores como el tipo de plancha utilizado como reflector, el tubo metálico que concentra el calor, el diámetro del tubo de colector y el tiempo de calentamiento, todo ello contrastado con el volumen de agua calentado. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. El mayor rendimiento se obtuvo con la plancha de reflexión y el tubo colector de acero inoxidable, el diámetro del tubo de una pulgada y el tiempo de calentamiento de 20 minutos.
2. Existe una interrelación significativa entre los principales factores y todas sus interrelaciones ya sean dobles, triples o cuádruples.
3. Con los residuos obtenidos demuestran claramente que todo el procedimiento de experimentación se ha realizado satisfactoriamente. (25)

(BERLANGA A. 2016) realizó una investigación de tesis titulada “Diseño de una terma solar como fuente de calentamiento de agua para las operaciones de lavado, de una planta piloto de recubrimientos metálicos en piezas de acero”. Tesis para titulación. Arequipa. UNSA. El objetivo de la investigación fue diseñar una terma solar para calentar agua en las operaciones del lavado de piezas metálicas a recubrir, para disminuir el consumo de combustible o electricidad. En el desarrollo se presentan todos los cálculos necesarios para un adecuado funcionamiento de los colectores, eligiendo en cada caso el mejor factor para dicho diseño. La investigación llegó a las siguientes conclusiones:

1. Aprovechando la energía solar, es factible calentar la cantidad necesaria de agua para usarlo en el lavado de piezas metálicas de una planta de recubrimientos metálicos.
2. La terma solar que se diseñó puede llegar a temperaturas necesarias para todo el proceso de lavado de piezas metálicas en una planta de recubrimientos metálicos, esto se logró realizando los cálculos de balance de energía, cantidad de paneles, dimensionamiento del tanque de acero

inoxidable, soldadura y respectivo aislamiento térmico y esfuerzos mecánicos.

3. Cuando se utiliza energía solar para una terma solar, reducimos el consumo de electricidad o combustible, y esto significa un ahorro eléctrico y la reducción de contaminación. (26)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El efecto invernadero y sus consecuencias

Todos hemos oído acerca del término efecto invernadero y los cambios de clima que puede generar, pero el efecto invernadero significa que las temperaturas globales promedio aumentarán varios grados, como consecuencia del aumento del dióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera, de hecho, muchos científicos creen que este calentamiento global ha ido ocurriendo desde hace algún tiempo, siendo este el principal responsable del aumento de la temperatura alrededor de dos tercios de un grado Celsius, ocurrido desde 1860. (27)

El gas principal del efecto invernadero es el dióxido de carbono, estas moléculas que están presentes en la actualidad en el aire se absorben en conjunto cerca de la mitad de luz infrarroja térmica. Esta absorción se debe a las vibraciones en la energía absorbida por los movimientos rotacionales del CO₂ cuando cambia de energía vibracional, así pues, un aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera impedirá que escape más rayos infrarrojos, lo cual incrementa el calentamiento del aire. (27)

Las Organizaciones No Gubernamentales (ONGs) como el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) actualmente intentan predecir y proyectar la severidad y consecuencias sobre el cambio climático global causado por el efecto invernadero. La IPCC espera que las emisiones anuales de gases invernadero se duplicaran entre 50-100 años. Esto resulta en una cascada de efectos medioambientales como:

- Desglaciación y por ende aumento del océano. Esto conlleva a problemas de inundaciones en las zonas costeras, y desborde de ríos. Incluso podrían desaparecer algunas islas.
- Erosión e inundación de cultivos agrícolas. A consecuencia de esto disminuye la cosecha ya que el suelo y los cultivos se dañan.
- Cambios en ecosistemas y degradación de la biodiversidad. Un ecosistema depende de los factores climáticos, como la temperatura, y si varía deja de ser un ambiente adecuado y propicio para todas las especies que habitan en ese ecosistema.
- Evaporación de suministros de agua, causando escasez de agua potable.
- Aumento del número y severidad de tormentas tropicales y ciclones. Que como consecuencia trae fuertes gastos económicos y pérdidas diversas dependiendo del lugar en donde suceda.
- Penetración de agua salada en las aguas subterráneas. Y con ello reducción de las fuentes del agua que puede ser consumida por los seres vivos.
- Clima más extremo, causando veranos más calientes y secos e inviernos más fríos. Alterando de esta manera los ciclos naturales, a los que estamos

acostumbrados, cambiando el ritmo de cosechas y programaciones a los que estábamos acostumbrados.

- Proliferación de enfermedades ya que el ambiente es más adecuado para el desarrollo de insectos peligrosos y patógenos.
- Alteración de la corriente del golfo fría y lo cual en un futuro podría generar una Nueva era de hielo.

“Irónicamente, un aumento de los gases de efecto invernadero se predice que provoca un enfriamiento de la estratósfera. Este fenómeno ocurriría porque la mayoría de los rayos termales, los infrarrojos, son absorbidos a bajas altitudes, y poco queda para calentar la estratósfera”. (28)

La cantidad global de carbono que se presenta a continuación en la figura 2 se refiere a la media, las variaciones y las tendencias en la perturbación del CO₂ en el medio ambiente, en referencia al comienzo de la era industrial. (29).

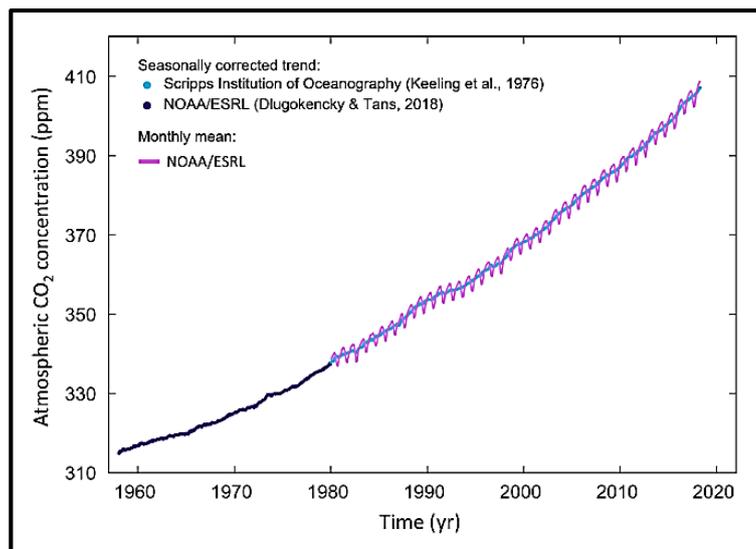


Figura 2. Concentración atmosférica media de CO₂ en la superficie (ppm) a través de los años.

Fuente: Tomado de Global Carbon Budget 2018.

Tanto ONGs políticas y medioambientales intentan ganar apoyo para la introducción y ejecución de acciones y soluciones para mitigar el efecto de los gases de efecto invernadero. Pero a pesar de las acciones de muchas organizaciones medio ambientalistas no todos los países aceptan el efecto invernadero como un problema medioambiental global. Muchos creen que la teoría aun siendo correcta en cierto modo, se exageran las consecuencias derivadas de este efecto invernadero.

2.2.2. Propagación de la energía solar

“El sol tiene un diámetro de 1.39×10^9 m, y es una enorme esfera de gases a una alta temperatura y se encuentra situado a la distancia media de 1.5×10^{11} m respecto de la tierra. Esta distancia se llama unidad astronómica.” (30)

Aproximadamente la temperatura que hay dentro del sol es 10^7 K, pero en la superficie externa del sol, la temperatura “efectiva del cuerpo negro” es de 5.762 K. esta medición se realiza utilizando método indirecto, ya que es obvio que nadie ha puesto un termómetro en el sol, y es debido a ello que muchos de los valores discrepan entre ellos. (31)

La energía solar llega a nuestra atmosfera en forma de radiación electromagnética luego desplazarse a través del espacio está disponible en todo el planeta, es una fuente renovable que no contamina, de forma directa o indirecta también es el origen de otras fuentes de energía renovable, contribuye al desarrollo sostenible y genera puestos de empleo en los lugares donde se instalan centrales a gran escala para inyectar energía a la red, por todo ello es que es una de las fuentes de energía más prometedoras.

Del mismo modo, al ser una tecnología de fácil instalación, nos permite usarlo en zonas aisladas de la red eléctrica, permitiéndose llegar a las zonas rurales. Por ejemplo, la empresa ACCIONA se encarga de desarrollar proyectos que faciliten la autosuficiencia eléctrica y lo ha ido realizando en la región rural de Cajamarca en Perú.

Otra gran ventaja de la energía transmitida por el sol es que ayuda a la descentralización de la generación de energía y dependiendo de los casos también reduce la dependencia energética. Está claro que el gran defecto que tiene este tipo de energía es el almacenamiento, pero, actualmente esta dependencia de almacenamiento se va reduciendo gracias al desarrollo de la tecnología haciendo creciente el porcentaje de participación de la energía solar en el sistema energético

Aquí un listado de los beneficios de la energía solar:

- Es una fuente renovable, y que escala de vida humana es inagotable.
- Reduce el uso de combustibles fósiles, con ello ayuda a la reducción de la contaminación y del calentamiento global.
- Contribuye al desarrollo sostenible.
- Es muy versátil, adaptable a diversos lugares, siendo aplicada a pequeña o a gran escala.
- Cuando se construyen las plantas solares, estas son silenciosas, no generan gases contaminantes, generan empleo y ayudan a la descentralización de energía

Pero como en todo, siempre existen factores positivos y negativos, en el caso de la energía solar, son las que se mencionan a continuación:

- Es una energía intermitente, pues solo es de día y no hay en la noche, razón por la cual en la actualidad nos vemos obligados a usar reservorios de energía como las baterías, en caso de energía eléctrica.
- Es una energía de intensidad cambiante, ya que existen factores meteorológicos y climáticos como las nubes, el polvo, contaminantes, etc. Que afectan directamente a la trayectoria de los rayos solares. La energía solar es aproximadamente (1100 w/m².h).
- Es una energía que no se puede controlar, ya que su intensidad varía de acuerdo con las estaciones siendo máxima en verano, y mínima en invierno.

En contraste con lo anterior, la energía solar es abundante, su aplicación está en gran crecimiento en los últimos años y lo más importante en la actualidad, económicamente hablando es que resulta básicamente gratuita con una sola inversión. “Pero su aprovechamiento ha de ser afrontado cuidando de equilibrar el beneficio de su utilización con la inversión económica que exige la solución adecuada para conseguirla.” (32)

2.2.3. Comportamiento de la radiación solar

La radiación solar se genera en el sol en todas las direcciones, estas ondas electromagnéticas se desplazan por el espacio interplanetario hasta llegar a la Tierra, ya que no necesitan de un medio material para que se puedan propagar.

Las ondas electromagnéticas son medibles en frecuencia y longitud de ondas, de acuerdo con ello se determina su poder de penetración, nivel de energía y visibilidad. “Todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 Km/s” (33)

De toda la energía que llega a la atmosfera, menos de la mitad llega de manera efectiva, debido a que parte de ella es absorbida por el suelo y la atmosfera, además de partes reflejadas por los elementos meteorológicos. Actualmente la radiación solar efectiva es la que podemos utilizar para generar energía de otro tipo, pero se están realizando proyectos para aprovechar la energía desde la parte externa del planeta. La radiación solar llega a nuestro planeta de estas formas distintas:

2.2.3.1. Radiación directa:

Este tipo de radiación es la que predomina en un día soleado. Se refiere a la radiación que llega directamente del sol a la Tierra sin sufrir interrupciones o desviaciones en su trayecto. Se mide con un pirheliómetro.

2.2.3.2. Radiación difusa:

Este tipo de radiación predomina en un día nublado. Se refiere a la radiación que antes de llegar a la Tierra, fue interrumpida o desviada por cualquier elemento de la atmosfera terrestre como las nubes, el polvo o los contaminantes, etc. Y debido a ello su dirección se ve alterada. Se mide con un piranómetro.

2.2.3.3. Radiación reflejada o albedo:

Esta radiación es producto de la reflexión de la superficie terrestre; ya que una vez que la radiación llega, dependiendo del cuerpo la cantidad de

reflexión varia, y esto cobra importancia por ejemplo en zonas con agua, nieve u otra zona con reflexión considerable. Se mide con un pirgeómetro o albedómetro.

2.2.3.4. La radiación global:

Es la radiación que resulta de la suma de la radiación directa y la radiación difusa. Se mide con un piranómetro.

A continuación, en la Tabla 2 se muestran los datos de las estaciones meteorológicas del SENAMHI cercanas a la zona de trabajo en Arequipa. Y en la Tabla 3 los instrumentos correspondientes para su medición.

Tabla 2.
Datos de energía solar y temperatura en Arequipa

Estación meteorológica	Energía solar diaria (kW h/m ²)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Characato-La Pampilla	6.50	22.8	6.8

Fuente: Adaptado de Atlas de Energía Solar del Perú. SENAMHI 2003.

Tabla 3.
Instrumentación en las estaciones meteorológicas

Estación meteorológica	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)	Instrumento de medición
Characato-La Pampilla	16.45	71.48	2451	Piranómetro

Fuente: Adaptado de Atlas de Energía Solar del Perú. SENAMHI 2003.

2.2.3.5. El espectro electromagnético

Es la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas, esta puede ser de espectro de emisión o absorción dependiendo si el cuerpo emite o absorbe la radiación electromagnética. Se utilizan espectroscopios para observar los espectros, y realizar mediciones como la intensidad de radiación, la longitud de onda y la frecuencia de onda.

A la luz visible más larga se le denomina luz roja, mientras que a la luz visible más corta se le denomina luz violeta; aquella longitud de onda que son mayor a la luz roja se le denomina infrarrojo, las cuales producen una reacción de calor, y por otra parte aquella longitud de onda menor a la luz violeta se le denomina ultravioleta la cual genera un efecto de bronceado a la piel y cuya exposición prolongada puede llegar a ser dañino para la salud.

El espectro solar está constituido según la proporción de longitudes de onda por toda esta distribución de ondas electromagnéticas, de la siguiente manera:

- Un 7% de la energía corresponden al espectro de la luz ultravioleta con una longitud de onda de 0,01 a 0,38 μm .
- Un 45 % de la energía corresponden al espectro de la luz infrarroja con una longitud de onda de 0,78 a infinito μm .
- Un 47% de la energía corresponden a las longitudes de ondas correspondientes al espectro visible de 0,38 a 0,78 μm . (32)

En la figura 3, se muestra un resumen de la distribución general por colores y aproximaciones de los tamaños de longitud de onda del espectro electromagnético.

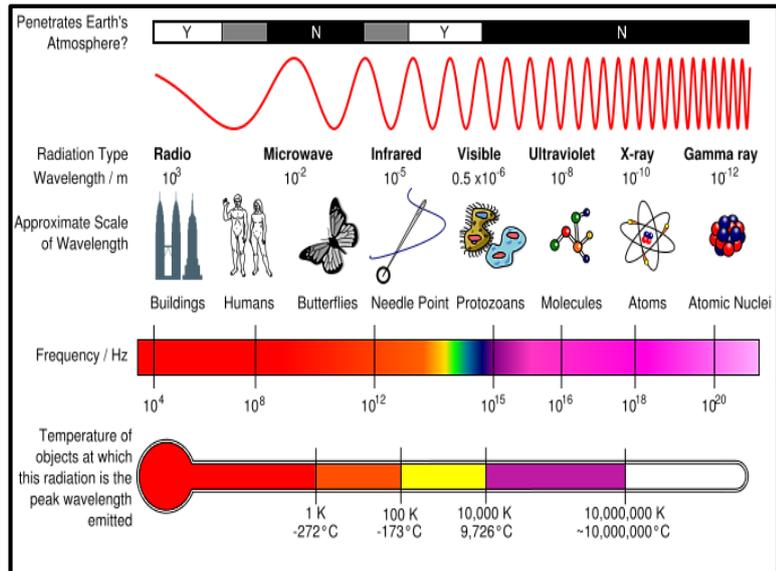


Figura 3. El espectro electromagnético.
Fuente: Tomado de Wikimedia commons.

2.2.3.6. Constante solar

Cuando la distancia Tierra-Sol es exactamente 1 U.A. (el valor promedio anual), la irradiancia solar en incidencia normal sobre una superficie plana hipotética ubicada en el exterior de la atmosfera terrestre; esta es aproximadamente constante y tiene un valor de 1367 W/m² o 4,92MJ/m². h. El promedio de largo plazo (varios años) de esta cantidad se conoce como constante solar. Su valor se determina a través de medidas satelitales de largo plazo que se actualizan continuamente. (33)

2.2.4. Generación de energía renovable

Son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables si consideramos el tiempo de vida humana; están en una constante renovación, a diferencia de otras fuentes de energía como los combustibles fósiles, las que han sido usadas bastante en años pasados y actualmente se siguen usando, no obstante, esta fuente es agotable ya que tiene unas cantidades o reservas

determinadas. “La energía puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc., existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía.” (34).

Existen diversas formas de energía renovable. Muchas de estas energías renovables son dependientes de forma directa o indirecta de la luz solar. la superficie de la Tierra tiene un calentamiento diferencial, y da como resultado la energía hidroeléctrica y la energía eólica, que hace que exista el viento (aire en movimiento) y que se formen precipitaciones a medida que se eleva el aire.

A continuación, se mencionan los tipos de energía renovable:

- Energía hidroeléctrica. Este tipo de energía es la más usada, y requiere de ubicaciones estratégicas para lograr aprovechar el potencial gravitatorio del agua que se encuentra en ríos o lagos.
- Energía Solar. Este tipo de energía es aquella en donde capta la luz solar de manera directa, se puede recolectar y luego convertir a otros tipos de energía. La energía de fusión nuclear del núcleo del Sol es la responsable de generar esta fuente de energía. Las utilidades van desde el calentamiento solar de agua con colectores solares o fuente de calefacción, hasta la conversión directa en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas o espejos y calderas.
- Energía eólica. Este tipo de energía se puede utilizar para generar electricidad o bombear agua. Esta energía se basa en la diferencia de temperaturas en la Tierra y genera el movimiento de la atmósfera.

Para su uso este tipo de energía requiere por lo general una amplia cobertura de área para producir grandes cantidades de energía.

- Energía producida por la biomasa. Este tipo de energía actualmente se refiere a la generación de metano y producción de alcohol para alimentación de plantas de energía eléctrica y para combustible de automóviles, antes se utilizaba la quema de árboles para generar energía, pero generaba altas concentraciones de gases contaminantes, es por ello por lo que hoy en día se buscan otras maneras alternas de generar energía.
- Hidrógeno y pilas de combustible. Este tipo de energía se basa en que el hidrogeno se puede quemar, generando solo agua como producto de ello, siendo un combustible de combustión limpia. El hidrogeno es uno de los gases más abundantes en la Tierra, y por ello representa una buena posibilidad de uso, pero es relativamente renovable.
- Potencia geotérmica. Este tipo de energía aprovecha el elevado gradiente geotérmico que hay en ciertas áreas, y en donde empleando una adecuada tecnología se logra explotar y generar energía. Otra tipa de energía geotérmica es la energía de la Tierra, que resulta del almacenamiento de calor en toda la superficie terrestre. Y puede usarse unas bombas de calor para usarlas como calefacción para un edificio, pero la energía no es suficiente para generar electricidad.

También existen otras formas de energía para generar electricidad como la fusión de hidrogeno caliente, más mareas y el océano. Cada uno de estos se discute con cierto detalle, y el resultado final es que cada uno sufre de uno u otro inconveniente importante y no se puede confiar en él en este momento para resolver la próxima crisis energética

“Las energías renovables provienen, de forma directa o indirecta, de la energía del Sol; constituyen una excepción la energía geotérmica y la de las mareas.” (34)

En el Perú existe un alto potencial de generación de energía renovable y por ello en el año 2011 aprueban un nuevo Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables (D. S. 012-2011-EM), que promueve la inversión en RER a través de subastas. Por medio de estas, la generación es asignada a los proyectos que ofrezcan un precio por debajo de una tarifa base establecida, hasta llegar al monto de generación subastado, priorizando proyectos con el menor precio ofrecido. (35)

En la figura 4, se observa una distribución los proyectos de energías renovables en el Perú, y se ve que, en Arequipa hay una mayor cantidad que en otras regiones. Esto es debido a que en esta región la radiación solar es muy favorable, y esto se muestra en la figura 5, donde se muestran las variaciones la energía solar.

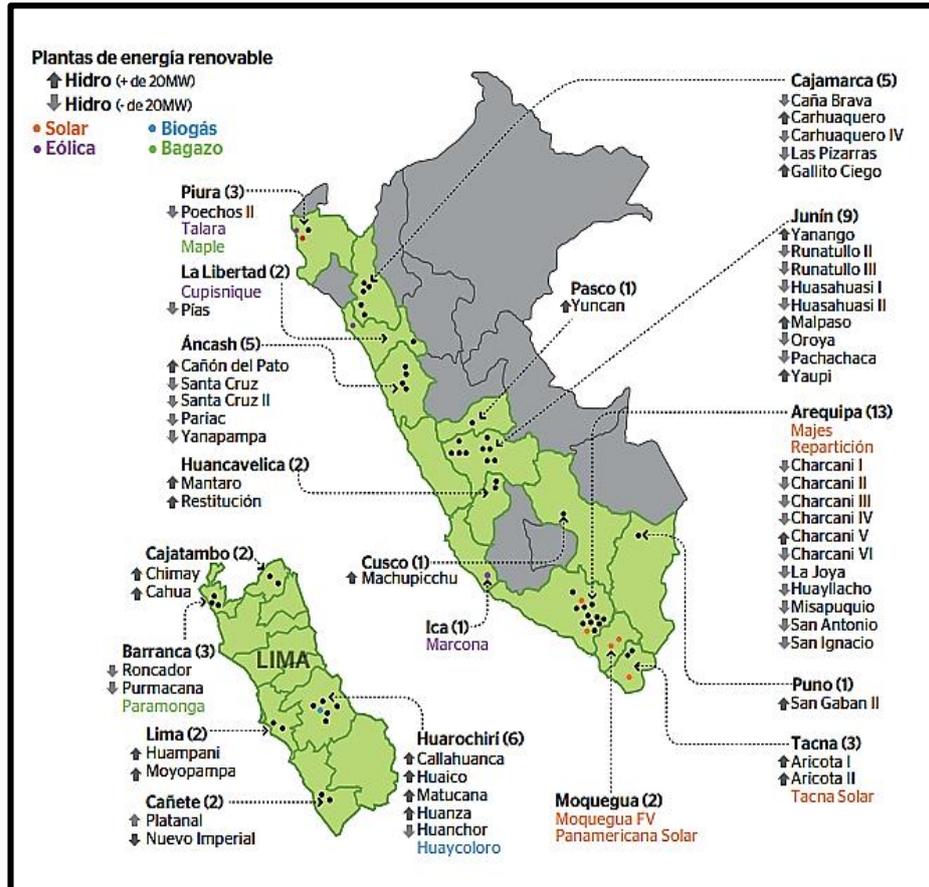


Figura 4. Mapa de proyectos de energía renovable en el Perú
Fuente: Tomado de Ministerio del ambiente del Perú.

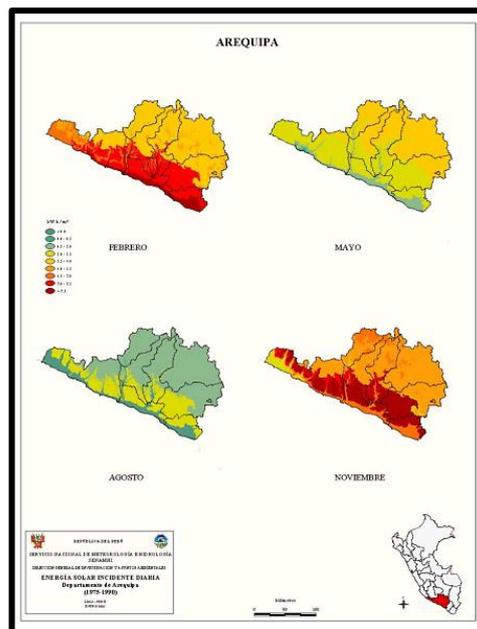


Figura 5. Mapa de energía solar de Arequipa.
Fuente: Tomado de atlas de energía solar SENAMHI.

2.2.5. Tipos de transferencia de calor

2.2.5.1. Conducción

Es el mecanismo de transferencia de calor de cesión de energía entre partículas contiguas, por el choque de unas moléculas con otras, el calor fluye de un cuerpo con mayor temperatura hacia otro de menor temperatura en donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas. La ecuación para este tipo de transferencia es la de Fourier. (36)

La velocidad a la que el calor se transfiere por conducción q_k es proporcional al gradiente de temperatura dT/dx por el área A en m^2 a través de

$$q_k \propto A \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

la que se transfiere el calor:

En esta relación, $T(x)$ es la temperatura local y x es la diferencia en la dirección del flujo de calor. La velocidad real del flujo de calor depende de la conductividad térmica k , que es una propiedad física del medio. Entonces para la conducción a través de un medio homogéneo, la tasa de transferencia de calor es: (37)

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

El signo negativo es consecuencia de la segunda ley de la termodinámica que requiere que el flujo de calor debe fluir en dirección de una temperatura mayor a una temperatura menor.

En la tabla 4 se dan ejemplos de los valores de conductividad térmica de algunos elementos.

Tabla 4.
Conductividad térmica de algunos elementos

Conductividad térmica a 300 K	W/m K
Cobre	399
Aluminio	237
Vidrio	0.81
Agua	0.6
Aire	0.026

Fuente: Adaptado del libro Principios de Transferencia de Calor.

2.2.5.2. *Convección*

Es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Esta puede ser natural producida solo por diferencias de densidades de la materia ya que el intercambio de calor produce una variación en la densidad; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo, el agua con una bomba o el aire con un ventilador, etc. La ecuación que rige el intercambio de calor por convección es la conocida ecuación de Newton, (líquido o sólido). (36)

La tasa de transferencia de calor por convección entre una superficie y un fluido se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$q_c = \overline{h_c} A \Delta T \quad (3)$$

Donde q_c es la tasa de transferencia en W, A es el área de transferencia de calor en m^2 , ΔT es la diferencia de temperatura superficial y la temperatura del fluido expresado en K, $\overline{h_c}$ es el coeficiente de transferencia de calor por convección promedio sobre el área A, en $W/m^2 K$. (36)

En la tabla 5 se muestran valores del agua a distintas temperaturas.

Tabla 5.
Densidades del agua a diferentes temperaturas

Temperatura °C	Densidad Kg/m ³	Temperatura °C	Densidad Kg/m ³
0	999.87	50	988.20
4	1000.00	60	983.38
10	997.50	70	977.94
20	998.26	80	971.94
30	995.76	90	965.56
40	992.35	100	958.65

Fuente: Tomado de Curso Programado de Instalaciones de Energía Solar 2001.

2.2.5.3. Radiación

Es la energía que emite un cuerpo que está a una determinada temperatura, en todas las direcciones hacia a fuera. “Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivos y transportadas por ondas electromagnéticas o fotones, por lo que recibe el nombre de radiación electromagnética.” (36). Este tipo de transferencia se diferencia de las otras debido a que no necesita de un medio poder transferirse.

La ecuación que rige el intercambio de calor por radiación es la conocida ecuación de Stefan-Boltzman. (36). La cantidad de energía que sale de una superficie como calor radiante depende de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. Un radiador perfecto, al cual se le refiere como cuerpo negro, emite energía radiante de su superficie a una tasa dada por: (36)

$$q_r = \sigma A_1 T_1^4 \quad (4)$$

En donde la tasa de transferencia de calor q_r estar en watts si el área superficial A , está en metros cuadrados y la temperatura superficial en T_1 está en kelvin, σ es una constante adimensional con un valor de 5.67×10^{-8} (W/m² K⁴). (36)

2.2.6. Funcionamiento y composición de una terma solar

Es una tecnología empleada para calentar el agua o aire, haciendo uso de la radiación solar. Su composición básica es de un colector y un tanque de almacenamiento, existen diversas variaciones de esta. Su diseño depende del uso al que se le vaya a dar, desde uso para agua caliente sanitaria en casas unifamiliares, hasta agua caliente para procesos industriales. El mecanismo de operación de una terma solar es el siguiente:

Su funcionamiento es de la siguiente manera: La luz solar es absorbida por una placa generalmente de color negro, que a su vez está cubierta por láminas de vidrio por delante, y debido a ello se calientan como si se tratara de estar dentro de un coche con las lunas cerradas en un día soleado. Si el aire o agua pasan por el colector entonces por transferencia de calor, estos se calientan y de esta forma, el calor podrá ser transportado a donde sea necesario. (38) En la figura 6 se muestra un ejemplo de la distribución de temperaturas en una terma solar, siendo el rojizo el caliente, y azul e frío.

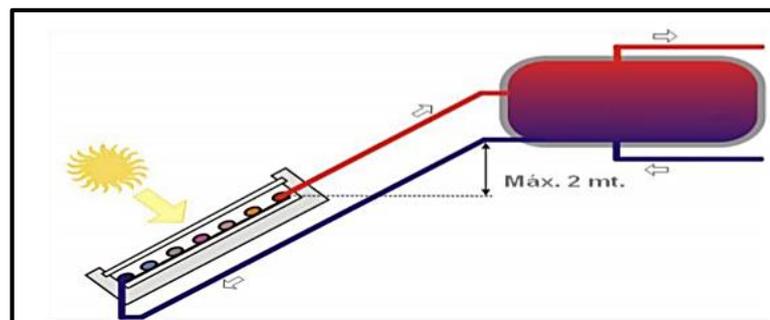


Figura 6. Terma solar
Fuente: Tomado de (Orbegozo, y otros, 2010)

2.2.6.1. Tanque de almacenamiento

Por lo general, el agua calentada por el colector no se utiliza inmediatamente, entonces se debe de almacenar en un tanque, que a su vez ayude a conservar la temperatura del agua. Para el adecuado funcionamiento del

tanque este debe de estar aislado adecuadamente, para evitar pérdidas de calor durante la noche. También es importante mantener bien aislados las entradas y salidas de tubería del tanque. El tanque deberá de estar situado más alto que el colector como a unos 30cm para favorecer a la recirculación y que el fenómeno termosifón cumplan con el movimiento dinámico del agua en todo el sistema.

En el caso de Las Termas Solares Sol y Vida, utiliza acero inoxidable para la parte externa y para el tanque interno. El aislamiento es realizado con esponja de poliuretano, por ser de bajo costo y bajo coeficiente de transmisión térmica.

El tanque puede ser vertical como horizontal, como se puede apreciar en la figura 7 y 8 respectivamente.

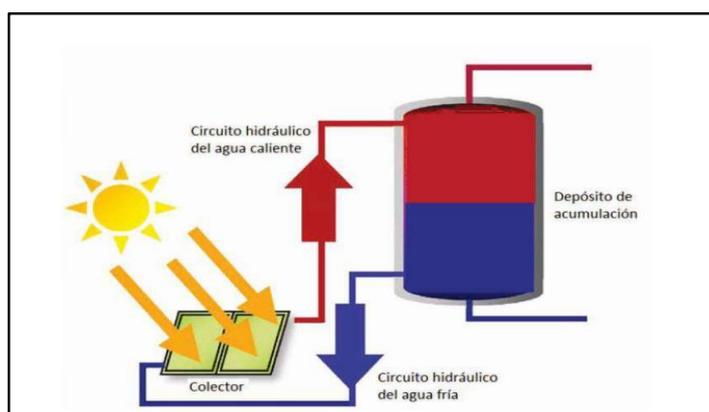


Figura 7. Tanque vertical
Fuente: Tomado de www.deltavolt.pe

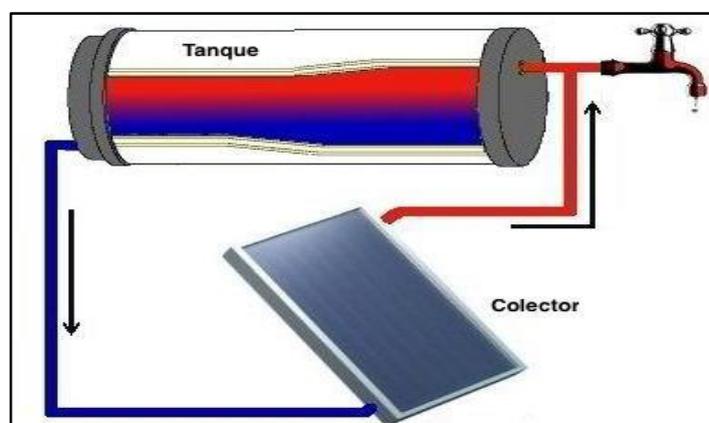


Figura 8. Tanque horizontal
Fuente: Tomado de www.deltavolt.pe

2.2.7. Colector solar plano

El colector plano es un intercambiador de calor, ya que capta la energía proveniente del sol y la convierte en energía térmica, mediante el efecto invernadero que se genera gracias a su configuración y componentes, esta energía es transferida a el fluido, que pasa por su interior ya sea agua o aire, y sus dimensiones dependen de la cantidad de fluido que se pretende calentar. En la figura 9 se muestra un modelo del colector solar plano.



Figura 9. Colector solar plano

Fuente: Tomado de Diccionario visual (www.ikonet.com)

El colector plano puede diseñarse para aplicaciones que requieren suministro de energía a temperaturas moderadas, arriba de 100 °C sobre la temperatura ambiente. También los colectores planos usan la radiación solar directa y difusa, no requieren seguir la trayectoria del sol y necesitan poco mantenimiento. (30)

El colector plano por lo general tiene los siguientes elementos:

2.2.7.1. *Cubierta frontal transparente*

Tiene como función principal reducir las pérdidas de calor por convección de la placa absorbidora hacia el ambiente, esto lo logra generando

un efecto invernadero, sus características deben de cumplir con transmitir el máximo de radiación incidente de onda corta, pero a su vez reducir las pérdidas por radiación térmica (infrarroja). Por lo general se utiliza el vidrio como cubierta, ya que es de bajo costo y cumple con las características mencionadas anteriormente, también se utilizan cubiertas de plástico, puesto que también tienen una alta transmitancia de onda corta, pero sus pérdidas térmicas son mayores que las del vidrio.

2.2.7.2. *La placa absorbidora y tubería*

Este es un componente crítico pues es en aquí donde se tiene que absorber el máximo de la radiación solar incidente, y posteriormente se transforma en energía térmica y luego sea transferido hacia el fluido que pasa por la rejilla de tubos ya sea agua o aire. Por lo general se utiliza aluminio gofrado para la placa absorbidora ya que posee una buena conductividad térmica, y su manipulación no requiere de mucho esfuerzo. Las placas absorbedoras se pintan de negro por lo general, para incrementar la capacidad de energía, pero también incrementa la emitancia en el IR.

Dependiendo del fluido a trabajar la tubería debe tener características como resistencia a la corrosión, reducción de depósitos calcáreos, entre otros, por lo general se utiliza cobre para la tubería ya que tiene un alto coeficiente de conductividad térmica y es de bajo costo a comparación de otros materiales.

De esta manera se logra la transformación de energía, para maximizar la transferencia es mejor utilizar una envoltura tipo omega sobre la tubería por parte de la placa absorbidora, ya que esta envuelve a todo el diámetro de la tubería, optimizando la transferencia de calor por conducción.

2.2.7.3. Aislamiento térmico

Su función es evitar las pérdidas por conducción de la placa absorbadora, se encuentran ubicadas por debajo de la placa y por los costados de todo el cajetín del colector solar. Existen muchos materiales aislantes, pero por lo general se utiliza la esponja de poliuretano ya que posee un bajo coeficiente de transmisión térmico, además de un bajo peso y es fácil de trabajar, en la tabla 6 se muestran algunas características de estos materiales.

Tabla 6.
Características de algunos aislantes.

Material aislante	Conductividad térmica	Temperatura máxima de trabajo
Lana de vidrio	0.050	150
Lana de roca	0.050	150
Poliestireno	0.042	85
Poliuretano	0.027	110

Fuente: Adaptado de Libro de Instalaciones de energía solar.

2.2.7.4. Carcasa externa

La función principal de la carcasa es de proteger y ser el soporte para todos los componentes del colector solar. Esta carcasa debe de ser resistente por lo general se utiliza aluminio anodizado en forma de canaleta, ósea en perfil “U”, ya que tiene buena durabilidad, no se corroe y es fácil de trabajar.

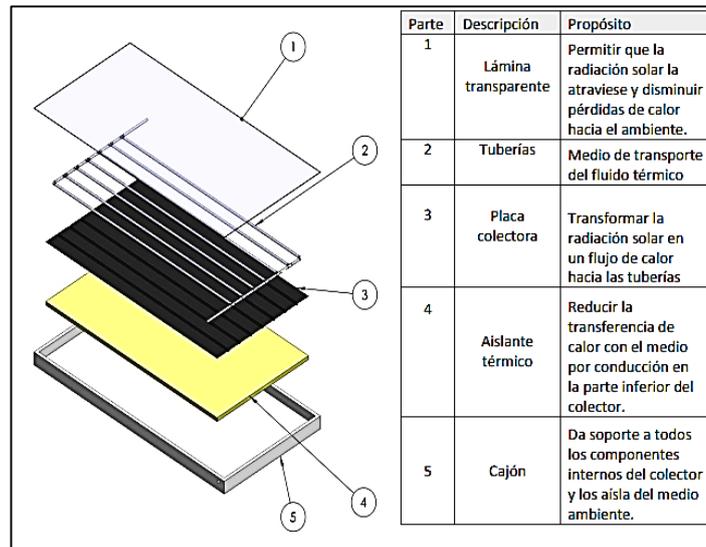


Figura 10. Componentes principales de un colector solar plano.
Fuente: Tomado de Manual técnico para termas solares.

2.2.8. El efecto invernadero y termosifón en el colector solar

De la misma manera en la que el planeta tierra genera un efecto invernadero con la atmosfera, el colector solar tiene como principio de funcionamiento en este mismo efecto: la radiación solar (onda corta) incide en el vidrio y lo atraviesa, luego la placa absorbedora se va calentando ya que va absorbiendo la radiación. Esta superficie que por motivos de maximización de captación de energía se pinta de negro por lo general emite, a su vez, calor radiación térmica (onda larga); y ya que el vidrio posee la propiedad de no permitir el paso de la onda larga, provoca que este tipo de ondas queden atrapadas dentro del colector, generando así el efecto invernadero en el colector plano de una terma solar como se muestra en la figura 11.

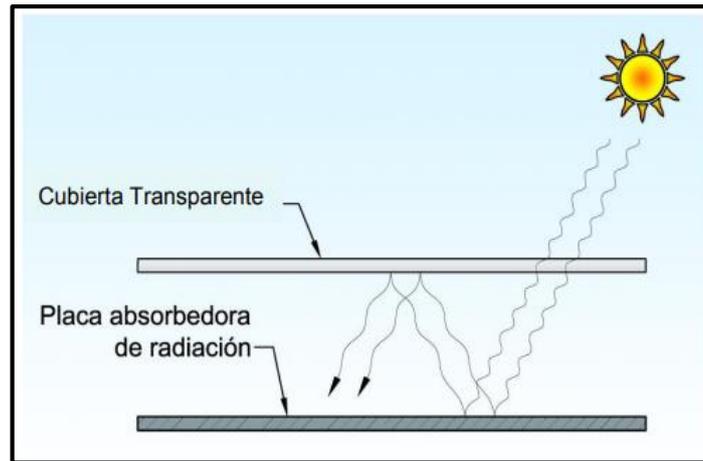


Figura 11. Efecto invernadero en una placa solar plana.

Fuente: Tomado de Libro de Energías Renovables y Eficiencia Energética.

El efecto termosifón se refiere a el movimiento del agua en este caso por diferencias de densidad, el agua luego pasar por el colector solar va aumentando su temperatura y por tanto su densidad se reduce y por ende su peso específico también. Entonces el agua caliente se sitúa en la parte superior del captador y con el impulso del agua fría que entra de la red o del alimentador, el agua caliente se sube hacia el tanque que en este tipo de sistema, generalmente se encuentra más elevado que el colector en donde se deposita manteniendo la diferencia de densidad en la parte superior, luego de un tiempo se va enfriando y siempre se pone una conexión de recirculación que está conectada entre la parte baja del tanque hacia la parte baja del colector para que el agua que se enfrió, baje otra vez al colector y vuelva a calentarse. Entonces se crea un movimiento en donde el agua va del colector hacia el tanque de almacenamiento, este movimiento se mantendrá mientras exista una diferencia de temperaturas entre el colector y el tanque de almacenamiento como se puede observar en la figura 12. “Una vez calentada el agua de éste, las temperaturas se igualan y el movimiento cesa”. (33)

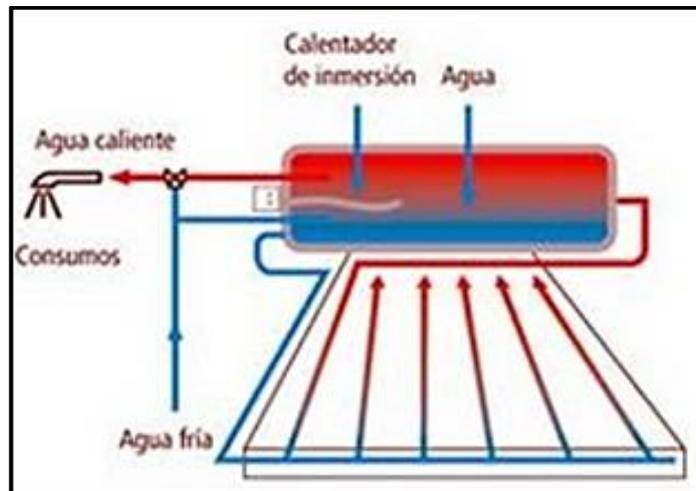


Figura 12. Efecto termosifón
Fuente: Tomado de www.termasolar.com.

2.2.9. Placa aislante tipo colmena de abeja

El colector tipo colmena de abejas es una pieza clave del sistema de termas solares; la capa adicional de aislamiento transparente dispuesta entre el vidrio protector y el plato absorbente del colector le da una mayor eficiencia térmica. Esta capa en forma de colmena de abeja es completamente transparente a la luz del sol, por lo que no interfiere con la captación de haces lumínicos a través de la placa absorbente del colector. Su función es suprimir la convección y las pérdidas de calor por conducción, puesto que el flujo queda restringido al espacio de aire entre esta capa y la superficie absorbidora de energía (15). Los materiales transparentes de aislamiento térmico transmiten el calor, principalmente a través de la conducción y la radiación, pero la convección por lo general es suprimida (39). Como se ve en la figura 13.

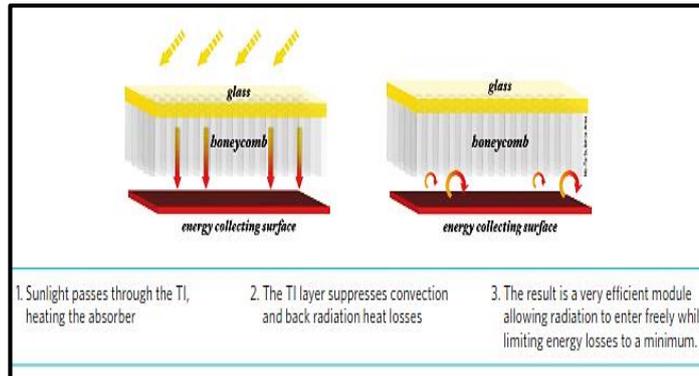


Figura 13. Principio de funcionamiento de la placa aislante tipo colmena de abeja

Fuente: Tomado de TIGI Solar (2015).

Esto es debido a su efecto aislante, por un lado, a un alto contenido de aire y a la separación de las capas de aire en volúmenes muy pequeños y, por otro lado, a materiales con buenas propiedades de absorción en el intervalo de radiación de calor, así como a una baja conductividad de calor. Según (Meyer, 2011) afirma lo siguiente: A nivel mundial, más de dos tercios de los fabricantes de colectores solares encuestados en noviembre de 2010, creían que los plásticos se convertirían en un material clave de fabricación del colector solar para la industria solar térmica en los próximos 10 años.

Además, “el policarbonato y el vidrio son los mejores materiales para generar el efecto invernadero”. (40)

2.2.10. Inclinación y orientación del colector

La orientación del colector solar en el hemisferio sur debe ser hacia el Norte y viceversa en el otro hemisferio. Para la inclinación es recomendable regirse a la latitud del lugar siguiendo una modificación de acuerdo a los grados de latitud, de esta manera de 0° a 10° debe ser 10° ; de 10° a 20° debe ser la misma latitud, de 20° a 35° la misma latitud más 10° y cuando es mayor a 35° entonces la inclinación debe ser la misma latitud más 15° . (30)

2.2.11. La constante de tiempo

La constante de tiempo del colector es una medida del tiempo de respuesta térmica del colector. El conocimiento del tiempo de respuesta es importante para establecer un período de tiempo apropiado para la prueba de eficiencia térmica. También es útil para determinar un período apropiado para promediar e informar datos experimentales recopilados durante la prueba.

Para cuantificar la constante de tiempo de un colector, se realiza una prueba de la constante de tiempo del colector definida en la norma de prueba ASHRAE 93-2003. La prueba de la constante de tiempo del colector se realiza en dos pasos de la siguiente manera.

Primero, el colector se expone al sol y la temperatura de entrada del colector se ajusta a la temperatura ambiente. Tan pronto como se hayan alcanzado las condiciones de estado estable, la irradiancia solar se reduce bruscamente a cero.

La eliminación de la irradiación solar se puede hacer moviendo el colector hacia el norte o sombreando el colector con un escudo opaco. Con la eliminación de la irradiancia, las temperaturas de entrada y salida del colector se observan continuamente hasta que la diferencia entre la salida y la temperatura de entrada disminuyen al 30% de su valor inicial.

Según esta prueba, la constante de tiempo del colector es el tiempo, τ , necesario para que la diferencia de temperatura entre la salida del colector y la entrada disminuya a una fracción de $1/e$ 0,368 de su valor inicial. (16)

La siguiente ecuación define el cálculo de la constante de tiempo.

$$\frac{t_{f,s,T} - t_{f,i}}{t_{f,s,inicial} - t_{f,i}} < 0.30 \quad (5)$$

Donde $t_{f,s,T}$ es la temperatura del fluido en el colector en un tiempo determinado, $t_{f,s,inicial}$ es la temperatura salida del fluido a un comienzo de la prueba, y $t_{f,i}$ es la temperatura del fluido al ingreso.

2.2.12. Eficiencia del colector solar

Según la NTP 399.400 2001 la eficiencia de un colector solar está definida como se muestra en la ecuación 2:

$$\eta_g = \frac{\text{energía real útil recogida}}{\text{energía solar interceptada por el área bruta del colector}} \quad (6)$$

Entonces la eficiencia de un colector sin concentración se expresa en la ecuación 3 y también en la forma de la ecuación 4, la que se utilizará en el desarrollo de este trabajo será la ecuación 3:

$$\eta_g = \frac{\dot{m}}{A_a G_t} C_p (t_{f,s} - t_{f,i}) \quad (7)$$

$$\eta_g = \left(\frac{A_a}{A_g} \right) F_R \left[(\tau\alpha)_s - U_L \frac{(t_{f,i} - t_a)}{G_t} \right] \quad (8)$$

Donde η_g se refiere a la eficiencia del colector, \dot{m} es el flujo másico del fluido, A_a es el área de apertura del colector, G_t es la radiación global incidente, C_p es el calor específico del fluido, $t_{f,s}$ es la temperatura a la salida del fluido, $t_{f,i}$ es la temperatura de ingreso del fluido.

En la ecuación 4 , A_g es el área bruta del colector, F_R es el factor de remoción, $(\tau\alpha)_s$ es el producto de transmisividad por absorptividad efectivo, U_L es el coeficiente de pérdida de calor del colector solar y t_a es la temperatura del aire ambiente.

“Si la eficiencia η_g , para un colector sin concentración, se gráfica en función de $\frac{(t_{f,i}-t_a)}{G_t}$, dará como resultado una línea recta, mostrando una U_L constante. La pendiente es igual a $\left(\frac{A_a}{A_g}\right)F_R U_L$ y la intersección con el eje Y es igual a $\left(\frac{A_a}{A_g}\right)F_R(\tau\alpha)_s$ ” (16)

La figura 14 muestra los resultados de un ensayo típico.

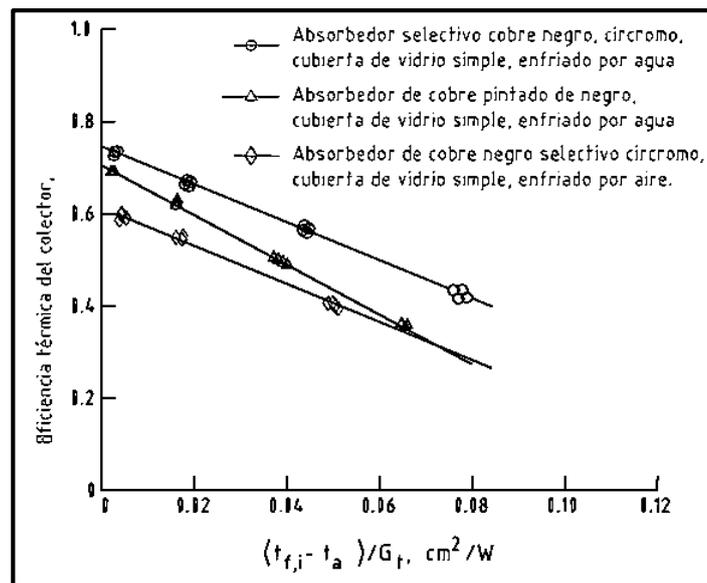


Figura 14. Ejemplo de una gráfica de eficiencia
Fuente: Tomado de NTP 399.400 2001.

2.2.13. Tiempo solar aparente

De acuerdo con la NTP 399.400 2001 menciona lo siguiente: Ya que existe una corrección constante para la diferencia entre el meridiano del observador y el meridiano en el cual se basa el tiempo estándar local entonces:

El tiempo solar aparente = Tiempo estándar + 4 (L_{st} - L_{loc}) + E

El sol toma cuatro minutos para atravesar 1° de longitud. La segunda corrección tiene en cuenta las perturbaciones en la velocidad de rotación de la tierra, que afecta el tiempo en que el sol cruza el meridiano del observador. La relación entre el tiempo solar aparente y el tiempo estándar local es:

- $E = (9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B))$.
- $B = 360 (n - 81) / 364$.
- n = Día del año, empezando del 1° de enero.
- L_{loc} = Longitud de la localidad en cuestión en grados Oeste.
- L_{st} = Meridiano estándar para la zona del tiempo local. (16)

2.3. Definición de términos básicos

Absortancia: “Fracción de la radiación incidente sobre un cuerpo que es absorbida por el mismo.” (16)

Área de absorción: “Es el área de transferencia de calor total en la cual, la radiación solar absorbida calienta el fluido de transferencia.” (16)

Calor: “Está definido como la forma de energía que se transfiere entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas, sin embargo, en termodinámica generalmente el término calor significa simplemente transferencia de energía. Este flujo de energía siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.” (36)

Cambio climático: “Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.” (28)

Colector de placa plana: “Es un colector solar en el que la superficie de absorción es esencialmente plana. Su alcance no puede contener elementos ópticos para dirigir el flujo radiante en la placa colectora.” (16)

Combustibles fósiles: “Los combustibles que provienen de depósitos de carbón fósil son petróleo, gas natural y carbón. Estos se queman para obtener energía. Durante el proceso de combustión se liberan gases de efecto invernadero.” (28)

Conductividad térmica (K): La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $W/(K \cdot m)$ (equivalente a $J/(s \cdot ^\circ C \cdot m)$). (36)

Contaminante: “Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del medio en que se encuentra o cuya concentración excede los niveles permisibles, y es susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente.” (41)

Dióxido de carbono: “Gas presente espontáneamente en la naturaleza, que se crea también como consecuencia de la quema de combustibles de origen fósil y biomasa, así como de cambios en el uso de la tierra y otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta al balance radiactivo de la Tierra. Es el gas que se toma como marco de referencia para medir otros gases de efecto invernadero, y por lo tanto su Potencial de Calentamiento de la Tierra (PCT) es 1.” (28)

Efecto invernadero: es cuando Los gases de efecto invernadero absorben de manera eficaz la radiación infrarroja, emitida por la superficie de la Tierra, por las nubes y por la propia atmósfera debido a los mismos gases. La atmósfera emite radiación en todas direcciones, incluida la descendente hacia la superficie de la Tierra. De este modo, los gases de efecto invernadero atrapan el calor en el sistema superficie-troposfera. A esto se le llama efecto invernadero natural.

Eficiencia térmica instantánea: “Es la cantidad de energía removida por el fluido de transferencia por unidad de superficie bruta durante el período de tiempo determinado, dividido por la radiación solar global total incidente sobre el colector por unidad de superficie durante el periodo de pruebas bajo el estado de equilibrio o estado cuasi estacionario.” (16)

Emisión: “Vertido de sustancias contaminantes a la atmósfera. Las fuentes de emisión pueden agruparse en cuatro categorías principales: fuentes fijas, fuentes móviles, fuentes de área y fuentes naturales.” (41)

Estándar de calidad ambiental (ECA): “Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos o biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa significativo para la salud de las personas ni al ambiente.” (42)

Gas licuado de petróleo (GLP): “Hidrocarburo que, a condición normal de presión y temperatura, se encuentra en estado gaseoso, pero a la temperatura normal y moderadamente alta presión es licuable. Usualmente está compuesto de propano, butano, polipropileno y butileno o mezcla de los mismos. En determinados porcentajes forman una mezcla explosiva. Se le almacena en estado líquido, en recipientes a presión”. (43)

Gases de efecto invernadero: “Los gases de efecto invernadero o gases de invernadero son los componentes gaseosos de la atmosfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad produce el efecto invernadero.” (28)

Irradiación, instantánea: “Es la cantidad de radiación incidente del sol en una superficie por unidad por unidad de tiempo, medida en W/m^2 .” (16)

Línea base: Estado actual del área de actuación, previa a la ejecución de un proyecto. Comprende la descripción detallada de los atributos o características socio ambientales del área de emplazamiento de un proyecto, incluyendo los peligros naturales que pudieran afectar su viabilidad. (41)

Límite máximo permisible (LMP): “Es la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. cuyo cumplimiento es exigible legalmente; es decir, el titular de la actividad productiva que no cumpla con los mismos puede ser pasible de sanción.” (42)

Material particulado: También denominado “partículas en suspensión”. Son fragmentos sólidos o gotas de líquido de tamaño pequeño que pueden tener composición química diversa. La concentración de partículas en aire se expresa en mg o μg (miligramo o microgramo) de partículas por m^3 de aire. El diámetro mayor de las partículas es su propiedad más importante. Se denomina «PM-10» a las partículas de diámetros inferiores a $10 \mu m$ (micrómetros o micras), y «PM-2,5» a las de diámetros inferiores a 2,5 micras (μm). (41)

Mitigación: “Intervención humana destinada a reducir las fuentes o intensificar los sumideros de gases de efecto invernadero.” (28)

Monóxido de carbono (CO): “Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Resulta tóxico a concentraciones elevadas en exposiciones cortas de tiempo. Más del 90% del CO atmosférico proviene de fuentes naturales, de manera muy especial de la oxidación del metano. Entre las fuentes antropogénicas destaca el transporte y, en menor medida, las plantas de combustión, las instalaciones de tratamiento y distribución de combustibles fósiles.” (41)

Óxidos de azufre (SO_x): “Grupo de gases incoloros que se producen durante la combustión de toda sustancia que contenga azufre. Naturalmente, proviene de la oxidación del sulfuro de hidrógeno (H₂S) en el metabolismo anaerobio de la materia orgánica. La fuente antropogénica principal es la quema de combustibles fósiles.” (41)

Óxidos de nitrógeno (NO_x): “Grupo de gases muy reactivos, principalmente formado por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). Estos contaminantes tienen un origen antropogénico, en especial en reacciones de combustión a temperaturas elevadas. En la atmósfera, los NO_x pueden contribuir a la formación de ozono (O₃) fotoquímico que trae consecuencias para la salud.” (41)

Ozono (O₃): “El ozono es considerado como un contaminante criterio y secundario. Se forma mediante la reacción química del dióxido de nitrógeno (NO₂) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar.” (41)

Piranómetro: “Es un radiómetro utilizado para medir la radiación global total, de la radiación solar incidente sobre una superficie por unidad de tiempo por unidad de área.” (16)

Plomo (Pb): “Es un metal usado en diferentes industrias como en la fabricación de baterías o acumuladores eléctricos, en la fabricación del acero y de ciertos vidrios. El plomo que no se consume en el proceso de combustión se emite como material particulado y es un contaminante tóxico para el ser humano.” (41)

Polvo: “Partículas sólidas pequeñas con diámetro menor de 75 micras (μm) que se sedimentan por su propio peso pero que pueden permanecer suspendidas en el aire por algún tiempo.” (41)

Radiación solar: “Su unidad es el W/m^2 . Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Este tipo de energía es capaz de viajar por el vacío, por esta razón es que somos capaces de recibir la energía del sol a través del espacio. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra.” (16)

Tiempo solar aparente: “Tiempo basado en el movimiento angular aparente del sol en el cielo. Al medio día solar el sol cruza el meridiano del observador.” (16)

Transmitancia: “Fracción de la radiación solar incidente sobre una superficie transmitida a través de ella.” (16).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método general

Como herramienta de investigación utilizada será el método científico, el cual parte de un conjunto de procedimientos que va a permitir explicar, resolver y producir conocimiento de las preguntas formuladas en este trabajo. Y Como siempre señaló Fred N. Kerlinger: es sistemática, empírica y crítica. (44)

3.1.2. Método específico

En esta investigación se hará uso del método explicativo – experimental pues mediante conocimientos teóricos sobre tipos de materiales y características de los aislantes, además del cálculo de la eficiencia tras un procesamiento de

datos experimentales de campo, por ello se utilizará el método deductivo, pues hallaremos la eficiencia a partir de los datos obtenidos. (44)

3.1.3. Tipo de investigación

Aplicada, ya que esta investigación pretende dar solución a un problema, en este caso planteado desde la perspectiva de mejora de la eficiencia del colector solar haciendo uso de la placa tipo colmena de abeja . (44)

3.1.4. Nivel o Alcance

Este estudio pretende hallar la eficiencia del colector de la terma solar con el uso de cada tipo de placa aislante tipo colmena de abeja, tratándose de 4 colectores fabricados en la empresa Termas Solares Sol y Vida en Arequipa.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño general es Experimental

El desarrollo de la experimentación se llevó a cabo en Arequipa, Alto selva alegre, Av Francisco Mostajo 1188, con Latitud S $16^{\circ}21'45.8''$ y longitud W $71^{\circ}31'14.0''$, la prueba se llevó a cabo entre los meses de noviembre a diciembre del 2018. Para el desarrollo de la investigación los pasos a seguir fueron:

1. Visita de campo, en donde se elaboró un diagnóstico para el planteamiento, formulación del problema y, objetivos.
2. Búsqueda de información como las del marco y bases teóricas en donde se amplían los conocimientos sobre el funcionamiento de los colectores solares, y antecedentes del mismo que ayudaron a una mejor comprensión y desarrollo del proyecto.

3. Selección del tamaño de panel a usar y caracterización de los prototipos, para ello el criterio de selección fue, el tamaño más comercial, cuyas características fueron las siguientes:

- Carcasa externa: con 85 cm de ancho y 135 cm de largo, fabricado de material Aluminio con perfil en forma de U.
- Rejillas: con 122 cm de largo y en los cabezales 91 cm. El material utilizado para la rejilla fue de cobre, 8 tubos de 1/4 pulg. en la tubería de largo y en los cabezales 1 tubo de 3/4 pulg en la parte superior y 1 tubo de 1/2 pulg en la parte inferior.
- Placa absorbidora: con 116 cm de largo 82 cm sin considerar el envolvimiento en forma de omega (Ω) alrededor de los tubos de la rejilla. El material utilizado fue aluminio gofrado.
- Aislante: con 84 cm de ancho y 134 cm de largo, además de ello cubrió todo el espesor alrededor de la carcasa externa que tiene un espesor de 6 cm. El material utilizado fue esponja de poliuretano de 1/2 pulg de color rosa.
- Cubierta frontal: con 84 cm de ancho y 134 cm de largo, el material utilizado fue vidrio de 3 mm incoloro, no templado.
- Para la parte trasera del colector con 84.5 cm y 134.5 cm de largo, el material utilizado fue de 3 mm.

Para la experimentación fue necesario adaptar el tamaño de las placas aislantes tipo colmena de abeja de la siguiente manera:

- Placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical: con 84 cm de ancho, 134 cm de largo, 18 mm de espesor y 5 mm de diámetro de hueco en su configuración vertical.
 - Placa aislante tipo colmena de abeja de configuración horizontal: con 84 cm de ancho, 134 cm de largo, 10 mm de espesor, 5 mm de ancho de hueco en su configuración horizontal.
4. Selección y determinación de los instrumentos necesarios para registrar los parámetros de medición necesarios para hallar la eficiencia del colector solar tales como: radiación incidente, flujo másico, temperaturas de entrada y salida del colector, temperatura ambiente, velocidad del viento.
 5. Elaboración de hojas excel en donde se automatizó la solución de ecuaciones que fueron necesarias para hallar la eficiencia de cada panel solar fabricado “n”, “h”, “v”y, “hv”. También se elaboró tablas de registro.
 6. Cotización y posterior compra, de todos los materiales e instrumentos necesarios para desarrollar la experimentación como: la placa tipo colmena de abeja en configuración vertical y horizontal, los materiales mencionados anteriormente de la placa, y unos materiales para el respectivo tanque de pruebas (acero inoxidable), niples, además una bomba de recirculación de ½ HP y tubos para la instalación. Entre los instrumentos fueron sensores de temperatura SB-41, SB-59, Controladores MICROSOL II E PLUS, Datta logger Interface CONV32 para el registro de datos, (45) Anemómetro GM816 para verificación de la velocidad de viento requerida, flujómetro modelo LZM-ZT para controlar el flujo de agua de ingreso al colector y

piranómetro SL100 de KIMO instruments para registra la radiación solar (46), además de una cámara tipo IP (Internet protocol camera), la cual es una con conexión mediante internet, para el monitoreo. También se instalaron los softwares SITRAD local 4.13 para el registro de datos (45) y Minitab 18 para el análisis estadístico (47).

7. Instalación de cada uno de los componentes de la placa; en total se fabricaron 4 paneles siendo uno llamado “n” el cual fue una placa normal que fabrica la empresa, otro fue “v” en el cual se adaptó la placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical, ubicado entre el vidrio y la placa absorbadora, otro fue “h” en el cual se adaptó la placa aislante tipo colmena de abeja de configuración horizontal, ubicado entre la placa absorbadora y el aislante de esponja, finalmente una placa llamada “hv” en la cual se adaptó ambos tipos de placa aislante tipo colmena de abeja.
8. Instalación de los circuitos de los controladores, software. Para lo cual fue necesario la orientación de un técnico especialista en el campo.
9. Pruebas de funcionamiento del sistema instalado tanto hídrico como eléctrico, y solución de problemas encontrados.
10. Experimentación; se llevó a cabo del 30/11/18 hasta 11/12/18. Cada evaluación de cada tratamiento se realizó durante un día, para cada uno. Se realizaron 3 réplicas para cada tratamiento como se muestra a continuación:
 - n: placa plana normal (n, n2, n3)
 - v: placa plana con la placa aislante tipo colmena de abeja vertical (v, v2, v3)

- h: placa plana con la placa aislante tipo colmena de abeja horizontal (h, h2, h3)
- hv: placa plana con ambas placas aislantes tipo colmena de abeja (hv, hv2, hv3)

11. Procesamiento de datos, en donde se utilizó como herramienta el software Minitab, el cual es un programa diseñado especialmente para el análisis y gráficas estadísticas. Como estadístico se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) ya que se aplica mejor cuando se comparan más de 2 poblaciones o muestras. (48) y se realizó unas pruebas post hoc como: la diferencia honestamente significativa de Tukey, pruebas de diferencia menos significativa (método LSD por sus siglas en inglés), la prueba de Dunnet o también llamada comparación múltiple, el método de comparaciones múltiples con el mejor de Hsu (método MCB por sus siglas en inglés) las cuales permitieron averiguar cuáles de las medias exactamente son las que se diferencian de otras.

12. Finalmente se realizó la interpretación de resultados, conclusiones y la redacción de informe final de la investigación.

3.3. Población y muestra

Para la muestra se utilizará la técnica de muestreo no probabilístico de tipo intencional, por lo tanto:

- Población objetivo

Colectores solares planos de termas solares.

- Muestra

4 colectores solares planos.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

- Observación
- Análisis documental
- Estadística (ANOVA de un factor)

El análisis de la varianza (ANOVA) es una técnica estadística utilizada para comparar conjuntos de datos. Esta técnica fue inventada por RA Fisher y, por lo tanto, a menudo se la denomina ANOVA de Fisher. Es similar en su aplicación a técnicas como t-test y z-test, ya que se usa para comparar medias y la varianza relativa entre ellas. La desviación estándar utiliza las mismas unidades que la variable. Un valor de desviación estándar más alto indica una mayor dispersión de los datos. (47)

El análisis de varianza se utiliza para contrastar la hipótesis de que varias medias son iguales. Esta técnica es una extensión de la prueba t para dos muestras.

Además de determinar que existen diferencias entre las medias, es posible que desee saber qué medias difieren. Existen dos tipos de contrastes para comparar medias: a priori y post hoc. Los contrastes a priori se plantean antes de ejecutar el experimento y los contrastes post hoc se realizan después

de haber llevado a cabo el experimento. También puede contrastar las tendencias existentes a través de las categorías. (47)

Para cada grupo: número de casos, media, desviación estándar, error estándar de la media, mínimo, máximo, se utilizó un intervalo de confianza al 95% para la media. También se realizaron pruebas de rango y de comparaciones múltiples post-hoc como: diferencia honestamente significativa de Tukey, pruebas de diferencia menos significativa (método LSD por sus siglas en inglés), la prueba de Dunnett o también llamada comparación múltiple, el método de comparaciones múltiples con el mejor de Hsu (método MCB por sus siglas en inglés) las cuales nos permiten averiguar cuáles de las medias exactamente son las que se diferencian de otras. (47)

Datos. Los valores de la variable de factor deben ser enteros y la variable dependiente debe ser cuantitativa (nivel de medición de intervalo).

Supuestos. Cada grupo es una muestra aleatoria independiente procedente de una población normal. El análisis de varianza es robusto a las desviaciones de la normalidad, aunque los datos deberán ser simétricos. Los grupos deben proceder de poblaciones con varianzas iguales.

3.4.2. Instrumentos

a) Ficha de observación

Autor: Phol Porras Cunyas

Mide: La eficiencia de terma solar

Aplicación: Laboratorio acondicionado para realizar las pruebas

Forma: Individual

Validez del contenido: Juicio de experto

Escala: Nominal

b) Fichas bibliográficas, de resumen, comentarios, textuales, etc.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

El desarrollo de la experimentación se llevó a cabo en Arequipa, Alto selva alegre, Av. Francisco Mostajo 1188, con coordenadas UTM: zona 19K 230754.07 m E de coordenadas Este y 8189282.54 m S de coordenadas Norte. La prueba se llevó a cabo entre 28 de noviembre a 11 de diciembre del 2018.

En la experimentación se obtuvo como resultado las eficiencias en cada tratamiento, se realizaron 3 réplicas para cada tratamiento y se tomaron 25 datos aleatoriamente para el procesamiento de datos.

En total fueron 4 tratamientos y son los siguientes:

- n: placa plana normal (n, n2, n3).

- v: placa plana con la placa aislante tipo colmena de abeja vertical (v, v2, v3).
- h: placa plana con la placa aislante tipo colmena de abeja horizontal (h, h2, h3).
- hv: placa plana con ambas placas aislantes tipo colmena de abeja (hv, hv2, hv3).

Se elaboraron gráficas de eficiencia para cada tratamiento realizado en donde se obtuvo el valor de la eficiencia en cada caso a tratar, siguiendo la configuración de ensayo número 1 establecida por la NTP 399.400 2001 la cual se muestra en la figura 15.

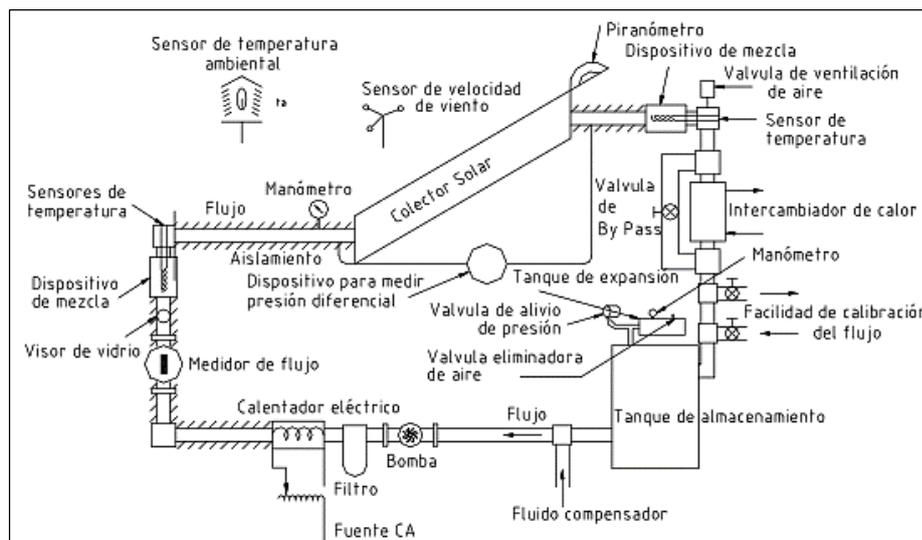


Figura 15. Configuración de ensayo N°1.
Fuente: Tomado de NTP 399.400 2001.

Para el caso de la evaluación de la eficiencia del panel normal se realizaron 3 pruebas para cada tratamiento un día para cada réplica y para evitar errores de variaciones climáticas las pruebas fueron alternadas en el siguiente orden “n”, “v”, “h”, y “hv”, y volviendo a empezar en n en cada replica. Toda la experimentación se llevó desde el día 30/11/18 hasta 11/12/18, en donde la temperatura de ingreso se fue variando

de acuerdo con la metodología establecida en la NTP 399.400 2001 para obtener el gráfico de eficiencia respectivo. El área de apertura de los colectores fue de 1.05 m^2 . El flujo de agua de ingreso al colector fue constante ya que el flujómetro tenía un mecanismo que servía para mantener el flujo de ingreso a un valor constante siendo este el de 1.26 lpm o 0.02 kg/s.m^2 , establecido por la NTP 399.400 2001 para este tipo de evaluación (16). Las distribuciones de temperaturas fueron de 25, 38.5, 52 y 65.5 tomadas dos veces, una antes y otra después del medio día solar hallado, además la selección de datos fue teniendo en cuenta la constante de tiempo con un valor de 6 min con 7 segundos para todos los casos. Las gráficas de eficiencia se realizaron utilizando el Microsoft Excel, y los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Minitab.

Los resultados presentados están influenciados por las dimensiones de las placas aislantes tipo colmena de abeja adaptadas:

- Con configuración vertical: que tiene 84 cm de ancho, 134 cm de largo, 1.13 m^2 de área, 18 mm de espesor y 5 mm de diámetro de hueco en su configuración vertical.
- Con configuración horizontal: que tiene 84 cm de ancho, 134 cm de largo, 1.13 m^2 de área, 10 mm de espesor, 5 mm de ancho de hueco en su configuración horizontal.

La etiqueta de dato corresponde al promedio del tipo de tratamiento, ubicado en la parte superior del inicio de la línea de gráfica. Ya que la metodología para hallar la eficiencia es en la misma en todos los tratamientos, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en cada tipo de tratamiento, “n”, “v”, “h”, y “hv” en cada caso

desde la figura 16 hasta la figura 19. En el caso de la eficiencia del panel normal se obtuvo una eficiencia de 0,60 que equivale a 60 %.

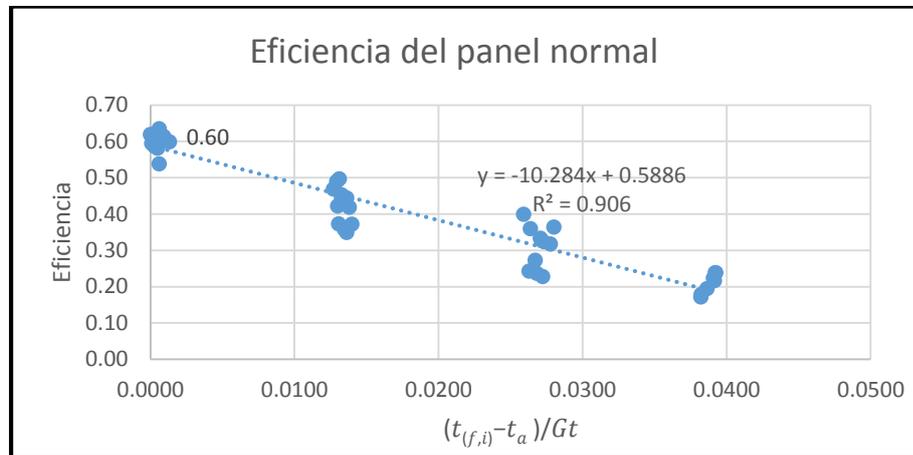


Figura 16. Eficiencia del panel normal (n).

La eficiencia del colector plano adaptado con una placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical, ubicada entre el vidrio y la placa absorbadora se muestra a continuación se obtuvo una eficiencia de 0.68, correspondiente a 68% en la figura 17.

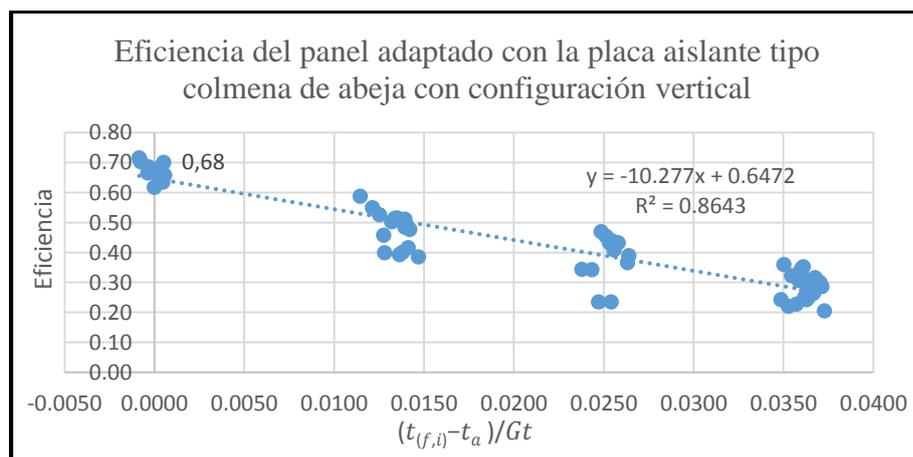


Figura 17. Eficiencia del panel adaptado con el panel tipo colmena de abeja con configuración vertical (v).

La eficiencia del colector plano adaptado con una placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal, ubicada entre la placa absorbadora y la esponja

de poliuretano, se obtuvo una eficiencia de 0,61, correspondiente a 61%, se puede observar en la figura 18.

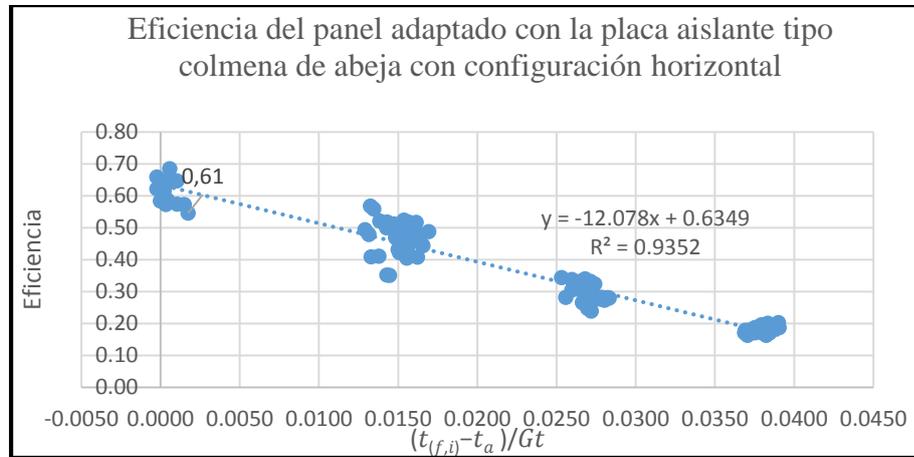


Figura 18. Eficiencia del panel adaptado con la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal (h).

La eficiencia del colector plano adaptado ambos tipos de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal y vertical, se obtuvo una eficiencia de 0,69 equivalente a un 69%, se puede observar a continuación en la figura 19.

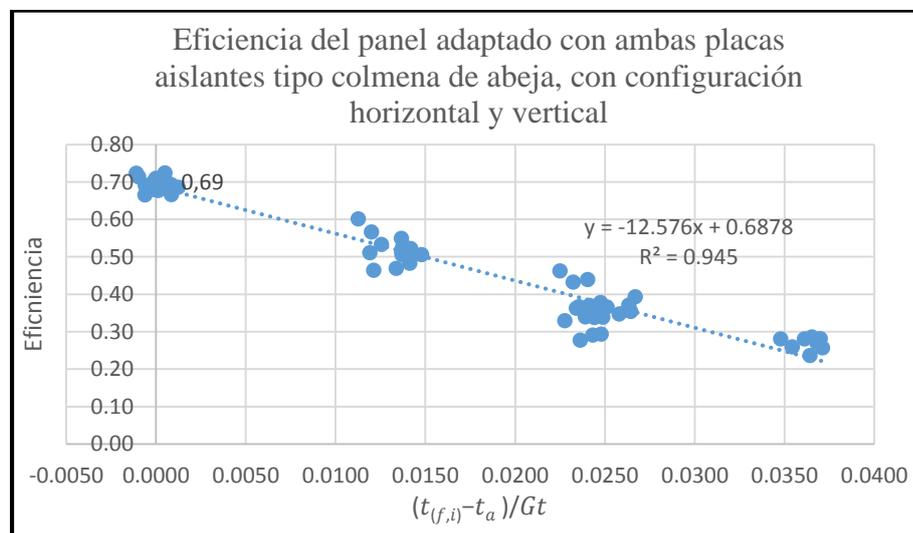


Figura 19. Eficiencia del panel adaptado con ambas placas aislantes tipo colmena de abeja, con configuración horizontal y vertical (hv).

Respecto a la reducción de gases de CO₂ se realizó un estimado, en base a los datos encontrados, en donde se menciona que 2 m² de un captador solar, puede evitar la emisión de 1,5 tn de CO₂ al año (13). Entonces el colector solar con el que se trabajó,

cuya área es de 1.05 m², puede evitar aproximadamente la emisión de 0.75 tn de CO₂ al año.

4.1.1. Análisis ANOVA de un solo factor

La desviación estándar agrupada, se refiere a una estimación de la desviación estándar común para todos los niveles que se analizan. Grupos más grandes tienen una influencia proporcionalmente mayor en la estimación general de la desviación estándar agrupada. (47) En la tabla 7 se muestra las medias de cada tratamiento y la desviación estándar agrupada obtenidas.

Tabla 7.
Medias de cada tratamiento y desviación estándar agrupada

Factor	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
n	25	0,60120	0,02630	(0,59006; 0,61233)
n2	25	0,59055	0,02572	(0,57941; 0,60168)
n3	25	0,60535	0,03314	(0,59421; 0,61648)
v	25	0,68475	0,03708	(0,67361; 0,69589)
v2	25	0,68822	0,02483	(0,67708; 0,69935)
v3	25	0,68480	0,02727	(0,67367; 0,69594)
h	25	0,61043	0,02561	(0,59929; 0,62157)
h2	25	0,61648	0,02106	(0,60534; 0,62762)
h3	25	0,61049	0,03417	(0,59935; 0,62162)
hv	25	0,69238	0,02208	(0,68125; 0,70352)
hv 2	25	0,68469	0,03708	(0,67355; 0,69583)
hv 3	25	0,69463	0,01696	(0,68350; 0,70577)

Desv.Est. agrupada = 0,0282908

En la figura 20 se muestran los intervalos de eficiencia entre cada uno de los tratamientos, que se realizó a 95% de confianza para cada grupo, donde se puede observar las medias de cada tratamiento; o, en donde cada punto ubicado en la gráfica representa la media de la muestra, también esta grafica de intervalo nos indica que cada media de grupo está dentro del intervalo de confianza del grupo y podemos estar seguros de ello en un 95%.

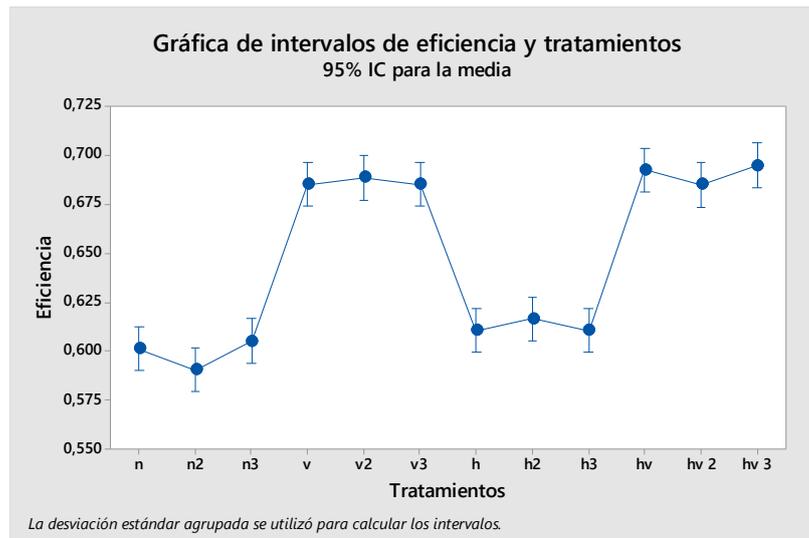


Figura 20. Intervalo de eficiencia y tratamientos

Una gráfica de caja permite comparar fácilmente la variabilidad de las muestras tendencia central y forma a manera de resumen de la distribución de cada muestra, también podemos identificar valores atípicos y la dispersión de los datos, en la figura 21 se representan cada uno de los tratamientos realizados en la experimentación.

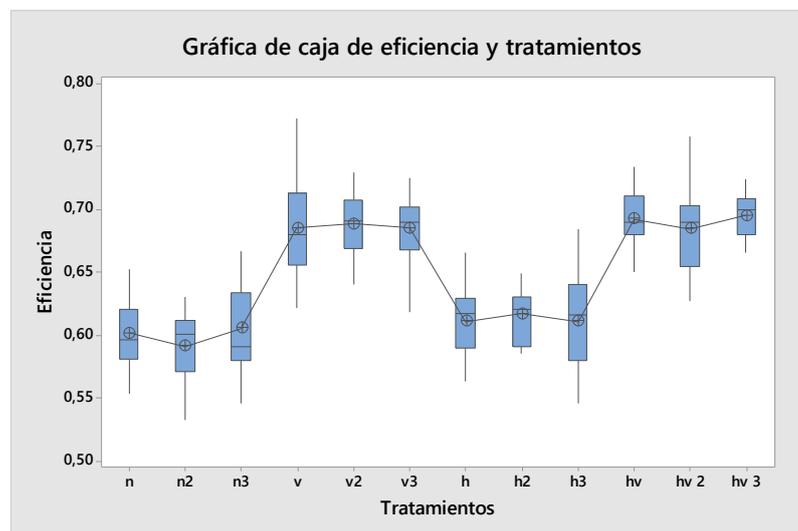


Figura 21. Gráfica de caja de eficiencia vs tratamientos

4.1.2. Análisis de diferencias entre las medias de los grupos

Cuando el valor p del ANOVA de un solo factor es menor que el nivel de significancia, como en el caso de esta investigación, entonces se rechaza la

hipótesis nula y se acepta la alterna la cual nos dice que no todas las medias de los grupos son iguales, pero no cuáles pares de grupos. Entonces es necesario realizar una prueba de rango post hoc las cuales nos permiten determinar qué medias difieren. La tabla de información de agrupación permite probar las diferencias de las medias para determinar si esa diferencia entre los pares específicos de grupos es estadísticamente significativa y para estimar qué tan diferentes son las medias.

La prueba de Tukey se muestra en la tabla 8, es una prueba post-hoc que crea intervalos de confianza para todas las diferencias significativas en parejas entre las medias de los niveles de los factores mientras controla la tasa de error por familia en un nivel especificado. Cuando se realiza comparaciones múltiples es importante considerar la tasa de error por familia, ya que el error tipo I tiende a ser mayor que la tasa de error cuando se realizan comparaciones individuales.

(47)

Tabla 8.
Información agrupada utilizando el método de Tukey (95% confianza)

Factor	N	Media	Agrupación
hv 3	25	0,69463	A
hv	25	0,69238	A
v2	25	0,68822	A
v3	25	0,68480	A
v	25	0,68475	A
hv 2	25	0,68469	A
h2	25	0,61648	B
h3	25	0,61049	B
h	25	0,61043	B
n3	25	0,60535	B
n	25	0,60120	B
n2	25	0,59055	B

La tabla de Pruebas individuales de Fisher muestra un conjunto de intervalos de confianza para la diferencia significativa entre los pares de medias. La primera técnica de comparación por pares fue desarrollada por Fisher en 1935 y se denomina prueba de diferencia menos significativa (lsd). La idea principal de la lsd es computar la diferencia significativa más pequeña (es decir, el lsd) entre dos medios como si estos medios hubieran sido los únicos medios para ser comparados (es decir, con una prueba t) y para declarar significativa cualquier diferencia mayor que el lsd.

En el caso de pruebas de Fisher es el único método que emplea intervalos de confianza individuales a diferencia de otros métodos. El nivel de confianza individual se refiere al porcentaje de veces que un solo intervalo de confianza incluye la diferencia real entre un par de medias de grupo, cuando se repite el estudio. (47)

En la tabla 9 se muestran agrupaciones por letras, en este caso A, B y C de donde se debe interpretar que las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 9.
Información agrupada utilizando el método LSD de Fisher (95% confianza)

Factor	N	Media	Agrupación
hv 3	25	0,69463	A
Hv	25	0,69238	A
v2	25	0,68822	A
v3	25	0,68480	A
V	25	0,68475	A
hv 2	25	0,68469	A
h2	25	0,61648	B
h3	25	0,61049	B
H	25	0,61043	B
n3	25	0,60535	B C
N	25	0,60120	B C
n2	25	0,59055	C

La Prueba de Dunnett (también llamada Método de Dunnett o Comparación Múltiple de Dunnett) se utiliza en ANOVA compara los promedios de varios grupos experimentales con los de un grupo de control que hay que ver si hay una diferencia. Este método crea intervalos de confianza para las diferencias que hay entre la media de un grupo control y la media de cada nivel de factor. En el caso de que un intervalo contenga el cero, entonces se interpreta que no hay diferencia significativa entre las dos medias que están comparándose.

Para la tabla 10 en donde se presenta la información agrupada utilizando el método Dunnett las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control que en este caso es n.

Tabla 10.
Información agrupada utilizando el método de Dunnett (95% confianza)

Factor	N	Media	Agrupación
n (control)	25	0,60120	A
hv 3	25	0,69463	
Hv	25	0,69238	
v2	25	0,68822	
v3	25	0,68480	
V	25	0,68475	
hv 2	25	0,68469	
h2	25	0,61648	A
h3	25	0,61049	A
H	25	0,61043	A
n3	25	0,60535	A
n2	25	0,59055	A

El método comparaciones múltiples con el mejor, más conocido por sus siglas en inglés (MCB) de Hsu, se utiliza generalmente después de un ANOVA para analizar con mayor precisión las diferencias entre las medias de los niveles.

El método hace comparaciones entre la media de cada muestra y el "mejor" de todos los otros medios, donde se especifica que "mejor" significa más grande o pequeño. En esencia, es una modificación del método de Dunnett, que permite que se aplique cuando no se sabe de antemano a qué grupo desea comparar todos los demás. Su propósito es como sugiere su nombre: seleccionar qué grupo (s) es o son los mejores: no significativamente diferentes entre sí, pero significativamente mejores que los otros. El método MCB de Hsu es un método de comparaciones múltiples el cual fue diseñado para identificar si existe una diferencia significativa entre el mejor y los demás datos.

En la figura 22 se observa la gráfica obtenida, considerando a hv3 como la mejor de las medias. “Si una cota de un intervalo es cero, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias correspondientes.” (47)

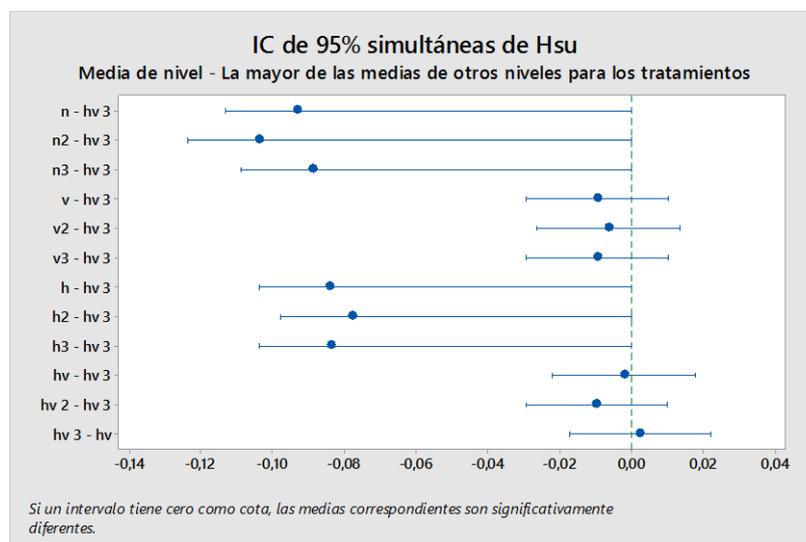


Figura 22. Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de HSU.

4.1.3. Análisis de residuos

La gráfica de histograma de residuos representa la distribución de un conjunto de los residuos para todas las observaciones. Esto se construye

dividiendo primero el rango de la variable en varios intervalos no superpuestos e iguales (también llamados "clases" o "contenedores"), y luego contando el número de observaciones en cada una. Las ventajas de los histogramas incluyen la capacidad de visualizar la forma de la distribución de frecuencia y demostrar la tendencia central. Sin embargo, debido a que los datos se agrupan en intervalos, no se pueden determinar los valores exactos de cada observación. En la figura 23 se muestra el histograma obtenido.

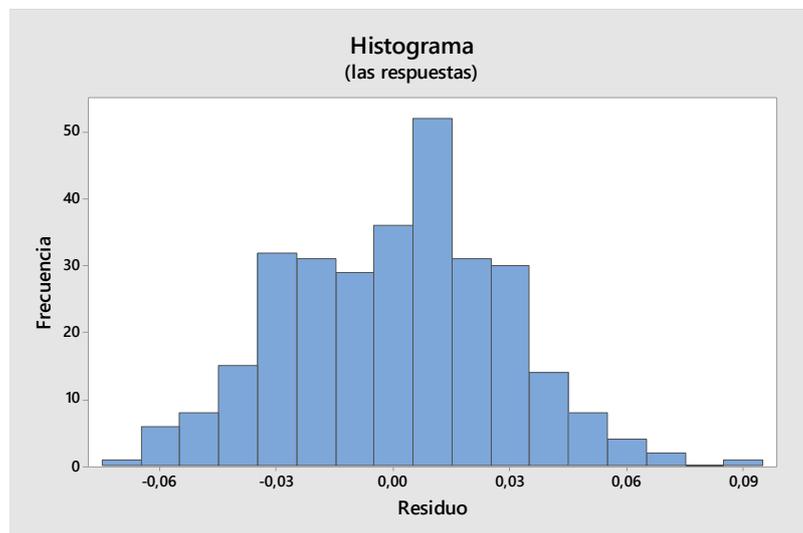


Figura 23. Histograma de residuos.

La gráfica de residuos vs. ajustes se utiliza para corroborar si los residuos tienen una varianza constante y si su distribución es aleatoria; ya que es lo esperado en esta investigación tal y como se muestra en la figura 24, en donde se muestran todos los datos representados por puntos. “Lo ideal es que los puntos se ubiquen aleatoriamente a ambos lados del 0, con patrones no detectables en los puntos.” (47).

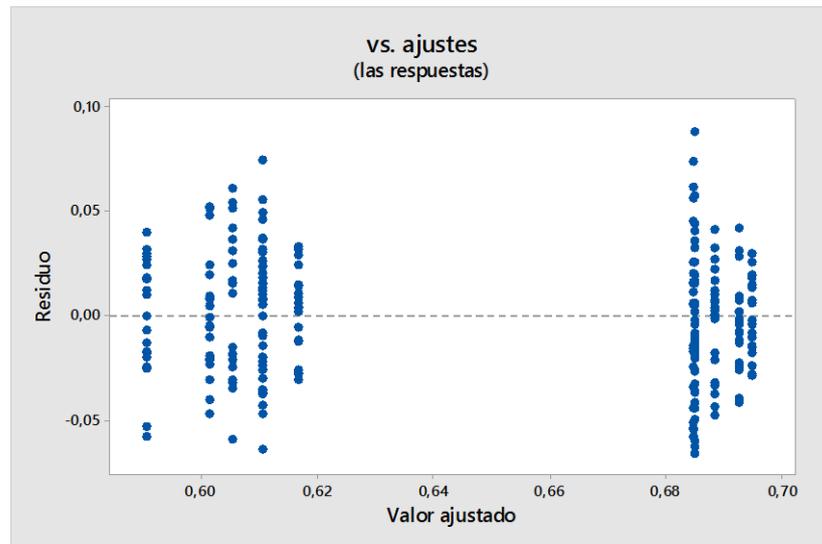


Figura 24. Residuos contra valores ajustados.

La gráfica de probabilidad normal de los residuos se utiliza para verificar si los residuos siguen una distribución normal o no. En la figura 25 se representan a todos los datos con puntos de color azul. “La gráfica de probabilidad normal de los residuos debe seguir aproximadamente una línea recta.” (47)

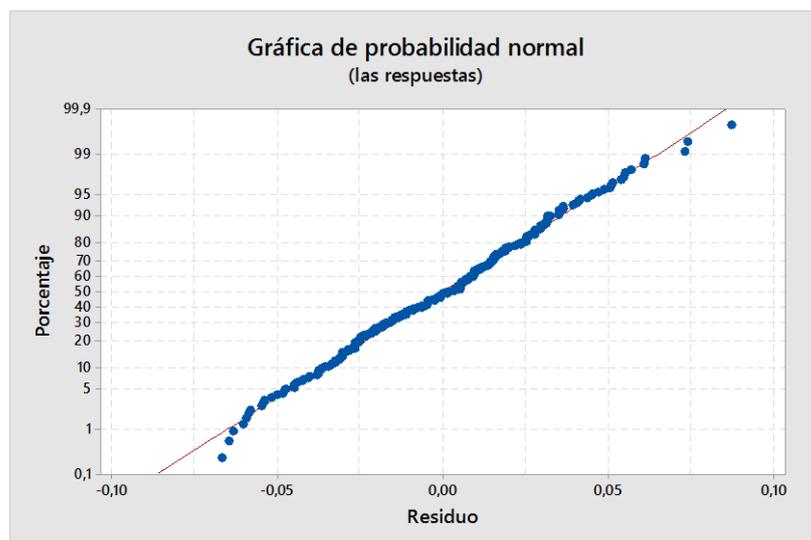


Figura 25. Probabilidad normal de residuos.

4.2. Prueba de hipótesis

En el tratamiento que se obtenga mayor valor de la eficiencia será el mejor, se tendrá en cuenta el valor de la eficiencia del panel que no tenga ninguna modificación como referencia para analizar la variación nueva obtenida.

Según (Tejedor J. 1999) menciona que: El análisis de varianza es la técnica estadística que nos posibilita el análisis de los datos en el contexto de las investigaciones de corte experimental, en sentido amplio, lo que da cabida a estudios de corte cuasi experimental, ex post facto. En todos los casos, nos permitirá el adecuado contraste de hipótesis y la estimación de los correspondientes parámetros. (49)

Para evaluar la hipótesis nula y comprobar si existe una diferencia estadísticamente significativa, se realiza una comparación entre el valor p y el nivel de significancia (el cual es 95% en este caso). En la tabla 11 se muestra el ANOVA, este se caracteriza porque presenta la hipótesis nula en donde indica que todas las medias de la población son todas iguales, y la hipótesis alterna en donde indica que no todas las medias de la población son iguales. “Valor $p \leq \alpha$: Las diferencias entre algunas de las medias son estadísticamente significativas. Y si el valor p es menor que o igual al nivel de significancia, entonces se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no todas las medias de población son iguales.” (47)

Tabla 11.
Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	11	0,5231	0,047556	59,42	0,000
Error	288	0,2305	0,000800		
Total	299	0,7536			

Como el resultado del valor de p es 0.000 y este es menor al nivel de significancia el cual es 0.05, entonces rechazamos la hipótesis nula, y se concluye que

no todas las medias de población son iguales. (47) por tanto existen algunas medias que son distintas.

4.3. Discusión de resultados

El resultado obtenido de la eficiencia del panel normal fue de 60% este valor es similar al obtenido en una investigación que realizó (ABDULLAH y otros 2003), en donde se obtuvo una eficiencia de 60.4% de su panel utilizado. A partir del resultado del panel “n”, el cual se usó como base para establecer si las otras eficiencias de los prototipos influyen de manera positiva o negativa en caso de que sea mayor o menor respectivamente a 60%.

En los resultados de eficiencia obtenidos luego de adaptar las placas tipo colmena de abeja, en todos los casos se logra una eficiencia mayor a 60%. La mayor eficiencia es de 69% que se obtuvo en el tratamiento “hv”; 61% en el caso de “h”, esta mejora no es significativa pues solo es de 1%, y finalmente 68% en el caso del tratamiento “v” brindando una mejora significativa ya que es de un 8%. En las pruebas realizadas por (TIGI solar 2015), se logra obtener una eficiencia de 79% con el uso de la placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical. Además, la mejora se debe a que el aislante transparente tipo colmena de abeja “permite que la luz solar pase a través para calentar la superficie de recolección al mismo tiempo que suprime las pérdidas de calor por convección y conducción”. (50)

Respecto a la reducción de emisión de CO₂, se obtuvo un resultado haciendo un comparativo teórico de 0.75 tn de CO₂ reducidos al año, esta cantidad está influenciada por la reducción de uso termas eléctricas o de gas, y a su vez, la nulidad del uso de sistemas duales, que directa o indirectamente contribuyen a la emisión de CO₂.

4.3.1. Análisis ANOVA de un solo factor

1. En la tabla 7 se muestra las desviaciones estándar para cada grupo de datos y la general, en todos casos los valores son menores que 0.04, y la desviación estándar agrupada es 0,028; como estos valores son bajos, entonces indica que existe una baja dispersión de los datos. De la misma forma, indica que los intervalos de confianza son más precisos (menos amplios) y brindan una mejor potencia estadística. (47)
2. En la figura 20 se muestran los intervalos de eficiencia y tratamientos, donde se da a conocer la media y el intervalo de confianza para cada grupo; se está a un 95% seguro de que las medias de los datos están dentro del intervalo de confianza del grupo, además de ello, se puede observar que las medias de cada tratamiento como “n, n2 y n3” están cercanos al grupo de “h, h2 y h3”; por otra parte los grupos de “v, v2 y v3” y “hv, hv2 y hv3” están cercanos entre ellos y a su vez están alejados de los otros grupos mencionados anteriormente, “n y h”, de esta manera se puede observar una clara diferencia sobre el aporte en la eficiencia de cada tratamiento realizado.
3. En la figura 21, se muestra una gráfica de caja de eficiencia vs tratamientos, se observa la distribución de cada muestra en cada tratamiento; según lo observado no hay valores atípicos resaltantes o alejados, y no hay una dispersión considerable en los datos.

4.3.2. Análisis de diferencias entre las medias de los grupos

1. En la tabla 8 muestra los resultados luego de utilizar el método Tukey, el cual sirve para determinar si existe una diferencia significativa entre las medias analizadas, se observa dos agrupaciones, el grupo A conformado por “v, v2, v3, hv, hv2 y hv3”; por otro lado, el grupo B conformado por “n, n2,

n3, h, h2 y h3”. Entonces se afirma que hay una diferencia significativa entre los que conforman el grupo A y B. Además, los del grupo A tienen en común el uso de la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical (v).

2. En la tabla 9 Información agrupada utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95% se obtuvieron 3 grupos, en donde las medias que no comparte la misma letra son significativamente diferentes, dentro de este análisis los grupos son: A conformado por v, v2, v3, hv, hv2 y hv3; por otro lado, el grupo B conformado por n, n3, h, h2 y h3; y por otro el grupo C conformado por n, n2 y n3. El tratamiento “n y n3” están en los grupos B y C; pero n2 es solo del grupo C, de esto podemos decir que están muy próximos y a la vez diferenciados de una manera no muy significativa los tipos de tratamientos de n y h. Por otra parte, se nota claramente que el uso de la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical, el cual está en tratamiento de v y hv, influye significativamente en la mejora de la eficiencia.
3. En la tabla 10 en donde se utiliza el método de Dunnett y una confianza de 95%, en donde las medias que no contienen la etiqueta A los cuales son “v, v2, v3, hv, hv2 y hv3”; son significativamente diferentes de la media del nivel d control (tratamiento “n”), por tanto, se afirma una vez más que el uso de la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical influye en la diferencia significativa de medias.
4. En la figura 22 en donde se utiliza el método de Comparaciones múltiples con el mejor (MCB) de HSU, el cual está diseñado para identificar los mejores niveles de los factores en donde todos los tratamientos son

comparados con el mayor valor siendo este el de “hv3”. La prueba indica que, si un intervalo tiene cero como cota, las medias correspondientes son significativamente diferentes, siendo estos “n, n2, n3, h, h2 y h3” comparados con “hv3”. Se observa una vez más, que los grupos son los que no usaron la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical los que tiene menor valor en este caso. Además de este se obtiene también que la mayor eficiencia obtenida es en “hv3” el cual es 69.5%.

4.3.3. Análisis de residuos

1. En la figura 23, Histograma de residuos se observa que tiene una distribución normal puesto que la cola más alta está muy cerca a cero, además no hay valores atípicos considerables.
2. En la figura 24, Residuos contra valores ajustados en donde lo ideal es que los puntos se ubiquen aleatoriamente a ambos lados del 0, con patrones no detectables en los puntos, se observa que la gráfica cumple con lo esperado, y con un gran número de puntos ubicados entre 0.05 y -0.05, además se observa la separación clara de dos grupos cada uno conformado de por 6 líneas de puntos.
3. En la figura 25 en donde se analiza la probabilidad normal de residuos se puede deducir que no existe anomalía debido a que los puntos siguen aproximadamente una línea recta, y los puntos que están algo alejados no son muy diferenciados, por tanto, no existen residuales atípicos. De la misma manera podemos afirmar que no existen errores en los cálculos.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se pretendió determinar el efecto al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida, en busca de la mejora de los colectores planos elaboradas por la empresa y de la mano el contribuir con el uso de las energías renovables para mitigar las emisiones de CO₂ producto del uso de gas GLP y de duchas eléctricas, para obtener agua caliente sanitaria; en la experimentación los tratamientos fueron: colector plano normal (n, n2, n3); colector plano con placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical (v, v2, v3); colector plano con placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal (h, h2, h3) y colector plano con ambas placas aislantes tipo colmena de abeja (hv, hv2, hv3); se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se determinó la eficiencia del panel normal “n” cuyo valor fue 60 %.
- Al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical se logra obtener un efecto positivo en la eficiencia del colector ya que la nueva eficiencia es 68% y este valor es mayor significativamente a la de un panel normal.
- Al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración horizontal se logra generar un efecto positivo en la eficiencia del colector solar plano ya que el nuevo valor obtenido es de 61%, y este nuevo valor es mayor, pero no de una manera significativa respecto a un panel normal.
- Al adaptar ambos tipos de configuración de placas aislantes tipo colmena de abeja se genera la mayor eficiencia del colector plano, el valor nuevo es de 69%, y se afirma que también influye de manera positiva.
- Luego de realizar las pruebas de comparación de medias: Tukey, Fisher, Dunnett y el método MCB de Hsu, para identificar a los tratamientos que eran diferentes entre

sí, se observó que existe una diferencia significativa entre los tratamientos de tipo “n y h” contra los de “v y hv”.

- Los residuos obtenidos se concentran dentro de ± 5 y así demuestran claramente que todo el procedimiento de experimentación se ha realizado satisfactoriamente.
- En base a las bases teóricas revisadas, el colector en el que se trabajó puede evitar la emisión de 0.75 tn de CO₂ al año.
- Como se obtuvo una mayor eficiencia, entonces con el uso de los nuevos paneles solares, ya no sería necesario implementar este sistema adicional, y de esta manera se anularía por completo el uso de la energía eléctrica o gas, para ello. Además, si el colector solar tiene una mayor eficiencia, también se amplía la posibilidad de su uso en lugares con climas más variados.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar más estudios de investigación adaptando la placa aislante tipo colmena de abeja, puesto que hay muchas variables más que se pueden estudiar, como por ejemplo la variación del diámetro de las celdas.
2. La significación y no significación de los tratamientos realizados en cada caso necesitan de un estudio más amplio con distintas dimensiones, para su generalización en la aplicación de termas solares.
3. Se debe promover el uso de las energías renovables ya que representan una manera limpia de generar energía a diferencia de las fuentes convencionales, además de ello para ayudar a la conservación del nuestro planeta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **OVIEDO SALAZAR, J L, Y OTROS.** *Historia y uso de Energías Renovables.* México : Daena: International Journal of Good Conscience, 2015. pág. 18.
2. *Violencia Ecológica vs. Desarrollo Sustentable.* **ALFIE C., MIRIAM.** México : s.n., 1994.
3. **GODINEZ ENCISO, JUAN ANDRÉS.** Desarrollo Económico y Deterioro Ambiental: Una visión de conjunto y aproximaciones al caso mexicano. *Desarrollo Económico y Deterioro Ambiental: Una visión de conjunto y aproximaciones al caso mexicano.* México : s.n., 1995.
4. *Avances del estudio experimental de la eficiencia de los colectores de los SCAES en laboratorio de energía solar del DAIME.* **FLORES, PEDRO.** Huaraz : s.n., 2017.
5. *Energías renovables para el desarrollo del Perú.* **SOCIEDAD PERUANA DE ENERGÍAS RENOVABLES.** Arequipa : s.n., 2018.
6. **ONU.** *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.* Santiago : ONU, 2016.
7. **GUZIAN CORAL, ANDY ENRIQUE Y SANCHEZ PEREZ, CESAR.** *Evaluación energética de un sistema solar para calentamiento de agua en un establecimiento hotelero en nuevo chimbote.* Chimbote : s.n., 2012.
8. **MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERÚ.** *Lista de medidas de Mitigación al Cambio Climático del Estado Peruano.* Lima : s.n., 2018.
9. *Energías Renovables para el Desarrollo del Perú.* **SOCIEDAD PERUANA DE ENERGÍAS RENOVABLES.** Arequipa : s.n., 2018.
10. **LÚMINI.** *Línea de base de entrada Arequipa – Conocimiento y percepción del cambio climático.* Lima : s.n., 2017.
11. *Plan Energético Nacional 2014-2025.* **MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS.** Lima : s.n., 2014.
12. *Transparent Insulation Collectors and System.* **TIGI.** 2006.
13. *Colectores solares para agua caliente.* **PLACCO, CORA, SARAVIA, LUIS Y CADENA, CARLOS.** Salta : s.n., 2008.

14. **FLORES BARRIOS, CARLA ANGÉLICA.** *Evaluación técnica y económica de sistemas de calentamiento solar de agua para servicios comerciales en la ciudad de México.* México : s.n., 2014.
15. *Transparent Insulation Collectors and System.* **SOLAR, TIGI.** 2015.
16. **INDECOPI.** *Norma técnica peruana NTP 399.400.* Lima : s.n., 2001.
17. **DIGESA.** *Inventario de emisiones cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa.* Arequipa : s.n., 2005.
18. **MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERÚ.** *Informe Nacional de la Calidad del Aire.* Lima : s.n., 2014.
19. **AQUAE FUNDACIÓN.** *Un Mundo Más Sostenible.*
20. **COMERCIO.** Sedapal: “Un peruano consume hasta 163 litros de agua al día”. *Sedapal: “Un peruano consume hasta 163 litros de agua al día”.* 2018.
21. **MASSIPE HERNÁNDEZ, JUAN R, Y OTROS.** *Colectores solares integrales con cubierta del tipo honeycomb en el clima de España.* Madrid : s.n., 2007.
22. **ABDULLAH, A H, ABOU-ZIYAN, H Z Y GHONEIM, A A.** *Rendimiento térmico del colector solar de placa plana que utiliza varias disposiciones de panel compuesto.* 2002.
23. **MONTOYA PORTUGAL, LUIS ALBERTO, Y OTROS.** *Evaluación de un calentador solar de agua de acuerdo a Norma Técnica Peruana.* Lima : s.n., 2011.
24. **CAMAYO LAPA, BÉCQUER FRAUBERTH, ESPINOZA MONTES, CIRO ABELARDO Y CLEMENTE, DE LA CRUZ WUILBER.** *Laboratorio de ensayos de colectores solares térmicos y radiación solar.* Arequipa : s.n., 2015.
25. **HUARI GUERRA, NATALY MADELEINE.** *Los factores de calentamiento y su influencia en el rendimiento de una terma solar en Huancayo.* Huancayo : s.n., 2015.
26. **BERLANGA GUTIÉRREZ, ALEXANDER OMAR.** *Diseño de una terma solar como fuente de calentamiento de agua para operaciones de lavado, de una planta piloto de recubrimientos metálicos en piezas de acero.* Arequipa : s.n., 2016.
27. **UNIVERSIDAD CONTINENTAL.** *Química Ambiental.* Cuarta. Huancayo : s.n., 2013.
28. **LENNTech.** Lenntech. *Lenntech.* [En línea] Lenntech USA LLC, 2019. <https://www.lenntech.es>.

29. **EARTH SYSTEM SCIENCE DATA.** *Global Carbon Budget 2018.* 2018.
30. **DUFFIE, JOHN A Y BECKMAN, WILLIAM A.** *Ingeniería Solar de Procesos Térmicos.* [ed.] Inc. John Wiley & Sons. 4. Hoboken : Wiley, 2013. pág. 928.
31. **FERNÁNDEZ SALGADO, JOSÉ M.** *Guía completa de Solar Térmica y Termoeléctrica.* Madrid : AMV EDICIONES, 2010.
32. **DE FELIPE BLANCH, JOSÉ JUAN Y LÓPEZ MARTÍNEZ, JOAN ANTONI.** *Sistemas Solares Térmicos de baja Temperatura.* Barcelona : Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL, 1999.
33. **ABAL, GONZALO Y DUREÑA, VALERIA.** *Manual Técnico de Energía Solar Térmica.* Montevideo : s.n., 2013.
34. **SHALLENBERG RODRÍGUEZ, JULIETA C, Y OTROS.** *Enerías Renovables y Eficiencia Energética.* Canarias : Institutí Tecnològic de Cnarias, S.A., 2008.
35. **MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERÚ.** *El Perú y el Cambio Climático.* primera. Lima : s.n., 2016. Vol. tercero.
36. **MULLER, ERICH A.** *Termodinámica Básica.* Sevilla : Consultora Kemiteknik C. A., 2002.
37. **KREITH, FRANK, MANGLIK, RAJ M Y BOHN, MARK S.** *Principios de Transferencia de Calor.* Séptima. México : Cengage Learning, 2012.
38. **ORBEGOZO, CARLOS Y ARIVILCA, ROBERTO.** *Energía Solar Térmica, Manual técnico para termas solares.* s.l. : Green Energy Consultoría y Servicios SRL, 2010.
39. *Solar Transparent Insulation Materials: A Review.* **KAUSHIKA, N D Y SUMANTHY, K.** 2003.
40. *Termotanque solar de agua.* **INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA.** Córdoba : INTA, 2015.
41. *Instrumentos Básicos para la Fiscalización Ambiental.* **ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL.** Lima : s.n., 2015, pág. 29.
42. **MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL PERÚ.** *Compendio de la Legislación Ambiental Peruana.* primera. Lima : s.n., 2010. Vol. 5.
43. **OSINERGMIN.** OSINERGMIN. [En línea] Organismo supervisor de la inversión en energía y minería, 2010. <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1433.htm>.

44. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, ROBERTO, FERNÁNDEZ COLLADO, CARLOS Y MARÍA DE PILAR BAPTISTA, LUCIO.** *Metodología de la investigación*. sexta. Mexico : McGRAW-HILL, 2014. pág. 634.
45. **FULL GAUGE CONTROLS.** Full Gauge Controls. *Full Gauge Controls*. [En línea] 2019. <https://www.fullgauge.com/>.
46. **KIMO INSTRUMENTS.** Kimo Instruments. *Kimo Instruments*. [En línea] 2019. <https://kimo-instruments.com/en/instruments>.
47. **MINITAB.** Minitab. [En línea] 2017. <http://www.minitab.com/es-mx/support/>.
48. **MONTGOMERY, DOUGLAS C.** *Diseño y análisis de experimento*. Mexico : Limusa S.A., 2004.
49. **JAVIER TEJEDOR, FRANCISCO.** *Análisis de Varianza: Introducción Conceptual y Diseños Básicos*. s.l. : ARCO LIBROS, 1999.
50. **THREEHUGGER.** Threehugger. *Threehugger*. [En línea] 2019. <https://www.treehugger.com/solar-technology/honeycomb-solar-hot-water-heater-promises-higher-efficiency-lower-cost.html>.
51. **PROAÑO QUEZADA, HÉCTOR MAURICIO.** *Determinacion de la eficiencia termica del poliuretano utilizado como aislante termico, en la empresa Esprom-purAmbato*. Riobamba : s.n. Tesis de grado.
52. **SENAMHI.** *Atlas de Energía Solar del Perú*. Lima : s.n., 2003.
53. **DIGESA.** *Inventario de emisiones de fuentes fijas cuenca atmosférica de la ciudad de Arequipa*. Arequipa : s.n., 2005.
54. **CONSUMO, MINISTERIO DE SANIDAD.** Real Decreto 865/2003. *Criterios Higiénico-Sanitarios para la Prevención y Control de la Legionelosis*. España : s.n., 2003.
55. **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS S.A.** Energías renovables y eficiencia energética. [aut. libro] Julieta C Schallenberg Rodriguez, y otros. *Las Energías Renovables*. Canarias : s.n., 2008, pág. 143.

ANEXOS

- A-1: Matriz de Investigación
- A-2: Instrumentos
- A-3: Instrumentos para el registro de datos
- A-4: Esquema de tratamientos y cálculos en hojas de Excel
- A-5: Fotografías

A – 1: Matriz de Consistencia

EFECTO EN LA EFICIENCIA DEL COLECTOR PLANO DE LAS TERMAS SOLARES SOL Y VIDA AL ADAPTAR UNA PLACA AISLANTE TIPO COLMENA DE ABEJA - ALTA SELVA ALEGRE - AREQUIPA - 2018													
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS Y VARIABLES	DIMENSIONES, SUBDIMENSIONES. E INDICADORES DE VARIABLES										
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Qué efecto tiene al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alta Selva Alegre – Arequipa 2018?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>A. ¿Qué efecto tiene adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical en la eficiencia del colector solar plano?</p> <p>B. ¿Qué efecto tiene adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración horizontal en la eficiencia del colector solar plano?</p> <p>C. ¿Qué efecto tiene adaptar ambos tipos de configuración de placas aislantes tipo colmena de abeja en la eficiencia en el colector?</p> <p>D. ¿Cuál es la eficiencia del colector solar plano?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Determinar el efecto al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja en la eficiencia del colector solar plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alta Selva Alegre – Arequipa 2018.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICAS</p> <p>A. Determinar el efecto al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical en la eficiencia del colector solar plano.</p> <p>B. Determinar el efecto al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración horizontal en la eficiencia del colector solar plano.</p> <p>C. Determinar el efecto al adaptar ambos tipos de configuración de placas aislantes tipo colmena de abeja genera una mayor eficiencia en el colector solar plano.</p> <p>D. Determinar la eficiencia del colector solar plano.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL Al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja genera un efecto positivo en eficiencia del colector plano de las Termas Solares Sol y Vida – Alta Selva Alegre – Arequipa 2018.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>A. Al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración vertical genera un efecto positivo en la eficiencia del colector solar plano de las termas solares.</p> <p>B. Al adaptar una placa aislante tipo colmena de abeja de configuración horizontal genera un efecto positivo en la eficiencia del colector solar plano de las termas solares.</p> <p>C. Al adaptar ambos tipos de configuración de placas aislantes tipo colmena de abeja se genera la mayor eficiencia del colector plano de las termas solares.</p>	<p>Independiente: Placa aislante tipo colmena de abeja vertical y horizontal</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; background-color: #cccccc;">DIMEN. O CAT.</th> <th style="width: 50%; background-color: #cccccc;">INDICADOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Placa tipo colmena de abeja con configuración vertical</td> <td>Tamaño de la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical</td> </tr> <tr> <td>Placa tipo colmena de abeja con configuración vertical</td> <td>Tamaño de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal</td> </tr> </tbody> </table> <p>Dependiente: Eficiencia del colector solar plano</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 70%; background-color: #cccccc;">DIMEN. O CAT.</th> <th style="width: 30%; background-color: #cccccc;">INDICADOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Relación entre la energía absorbida por el fluido portador del calor y la energía incidente</td> <td style="text-align: center;">$n = \frac{E. absorbida}{E. solar incidente}$</td> </tr> </tbody> </table>	DIMEN. O CAT.	INDICADOR	Placa tipo colmena de abeja con configuración vertical	Tamaño de la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical	Placa tipo colmena de abeja con configuración vertical	Tamaño de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal	DIMEN. O CAT.	INDICADOR	Relación entre la energía absorbida por el fluido portador del calor y la energía incidente	$n = \frac{E. absorbida}{E. solar incidente}$
DIMEN. O CAT.	INDICADOR												
Placa tipo colmena de abeja con configuración vertical	Tamaño de la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical												
Placa tipo colmena de abeja con configuración vertical	Tamaño de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal												
DIMEN. O CAT.	INDICADOR												
Relación entre la energía absorbida por el fluido portador del calor y la energía incidente	$n = \frac{E. absorbida}{E. solar incidente}$												

EFFECTO EN LA EFICIENCIA DEL COLECTOR PLANO DE LAS TERMAS SOLARES SOL Y VIDA AL ADAPTAR UNA PLACA AISLANTE TIPO COLMENA DE ABEJA - ALTO SELVA ALEGRE - AREQUIPA - 2018

MÉTODO Y DISEÑO	TIPO, DISEÑO, POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO
<p>MÉTODO GENERAL</p> <p>Como herramienta de investigación utilizada será el método científico.</p> <p>MÉTODO ESPECÍFICO</p> <p>En esta investigación se hará uso del método explicativo – experimental.</p>	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Aplicada, ya que esta investigación pretende dar solución a un problema, en este caso planteado desde la perspectiva de mejora de la eficiencia del colector solar haciendo uso de la placa tipo colmena de abeja.</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN: correlacional – explicativo</p> <p>POBLACIÓN: Collectores solares planos de termas solares</p> <p>MUESTRA: 4 Prototipos de colector solar plano</p>	<p>TÉCNICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observación • Análisis documental • Estadística (ANOVA) y pruebas post-hoc. <p>INSTRUMENTACIÓN</p> <p>A) Ficha de observación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Autor: Phol Porras Cunyas • Mide: La eficiencia de terma solar • Aplicación: Laboratorio acondicionado para realizar las pruebas • Forma: Individual • Validez del contenido: Juicio de experto • Escala: Nominal <p>B) Fichas bibliográficas, de resumen, comentarios, textuales, etc.</p>	<p>Para el tratamiento de datos se utiliza la prueba ANOVA de un solo factor, pues nos permite la comparación de varianzas de más de tres grupos.</p> <p>Pruebas post hoc:</p> <p>Las pruebas post hoc nos permiten saber con mayor certeza si hay una diferencia significativa entre los grupos analizados además nos permite saber, cuales son estos grupos que se diferencian entre sí. Los métodos usados son: Turkey, Fisher, Dunnett y el método MCB de Hsu,</p>

A- 3 Instrumentos para el registro de datos



Figura 26. Sensor SB-41



Figura 28. Sensor SB-59.



Figura 27. Piranómetro SL100 de KIMO instruments.



Figura 29. Controlador
MICROSOL II E PLUS.



Figura 31. Interface CONV32.



Figura 30. Flujómetro LZM-ZT.

A - 4: Esquema de tratamientos y cálculos en hojas de Excel

Detalles:

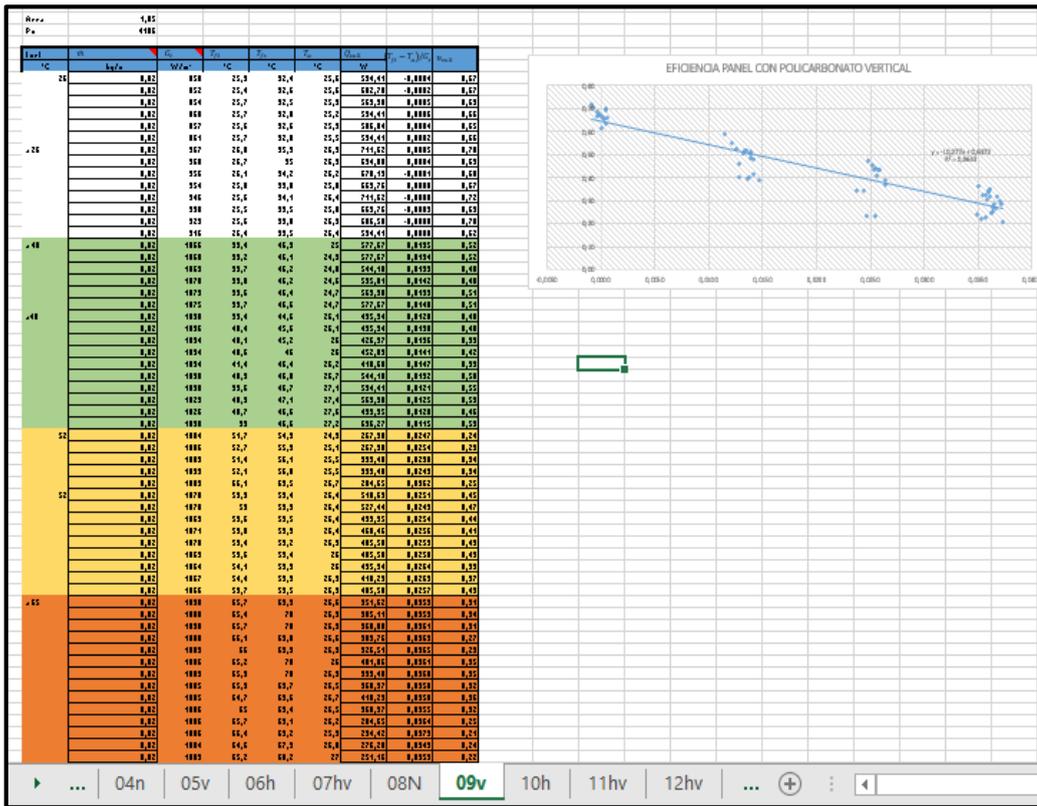
El colector solar y prototipos de estos fueron fabricados en la empresa Termas Solares Sol y Vida, con 1.05 m² de apertura en todos los casos, y en condiciones de instalación determinadas por la empresa para el uso, con orientación al Norte y a 16 grados de inclinación.

- n: colector solar de placa plana normal.
- v: colector solar de placa plana con la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical.
- h: colector solar de placa plana con la placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal.
- hv: colector solar de placa plana con ambas placas aislantes tipo colmena de abeja con configuración horizontal y vertical.

Fue necesario hallar el tiempo solar para organizar el horario de toma de datos, se muestra en la figura 32.

B) TIEMPO SOLAR pag 66					
fecha	número de día del año				
21/05/2018	141				
Lst	105				
Lloc	112				
TE	11:30				
TSA= TE + 4(Lst - Lloc) + E					
n	B (°)	E (min)	correccion (min)	TSA	
141	59,34	3,53	-24,47	11:05:32	
			24,47		
			0:24:28	28,2	
CALCULO DE TIEMPO SOLAR					
AREQUIPA					
fecha	número de día del año				
10/12/2018	344				
Lst	75				
Lloc	71,52				
TE	12:00:00				
TSA= TE + 4(Lst - Lloc) + E					
n	B (°)	E (min)	correccion (min)	TSA	
344	260,11	6,11	20,03	11:39:59	
			1,8		
			0:20:01		

Figura 32. Cálculo de tiempo solar.



n	n2	n3	v	v2	v3	h	h2	h3	hv	hv 2	hv 3
0,58	0,62	0,57	0,69	0,66	0,67	0,60	0,62	0,57	0,65	0,70	0,71
0,60	0,58	0,55	0,68	0,69	0,67	0,56	0,64	0,55	0,67	0,70	0,70
0,65	0,62	0,57	0,68	0,69	0,63	0,59	0,62	0,57	0,69	0,67	0,72
0,55	0,58	0,65	0,64	0,69	0,66	0,57	0,60	0,65	0,67	0,63	0,67
0,56	0,57	0,67	0,66	0,69	0,65	0,60	0,59	0,68	0,67	0,63	0,69
0,58	0,56	0,66	0,67	0,70	0,66	0,61	0,60	0,66	0,69	0,66	0,69
0,65	0,57	0,64	0,62	0,70	0,70	0,62	0,63	0,64	0,70	0,70	0,70
0,61	0,54	0,62	0,72	0,71	0,69	0,63	0,63	0,62	0,69	0,69	0,71
0,58	0,53	0,62	0,67	0,73	0,70	0,63	0,62	0,62	0,69	0,67	0,70
0,61	0,57	0,64	0,65	0,65	0,67	0,65	0,64	0,70	0,63	0,71	0,71
0,59	0,61	0,66	0,62	0,64	0,72	0,65	0,65	0,66	0,68	0,65	0,68
0,63	0,61	0,62	0,65	0,69	0,69	0,62	0,63	0,62	0,73	0,73	0,68
0,65	0,62	0,58	0,77	0,69	0,70	0,63	0,59	0,58	0,68	0,75	0,67
0,60	0,61	0,57	0,73	0,69	0,62	0,62	0,59	0,57	0,68	0,76	0,68
0,62	0,60	0,59	0,74	0,67	0,72	0,63	0,59	0,59	0,72	0,69	0,71
0,59	0,57	0,62	0,72	0,70	0,68	0,62	0,62	0,64	0,72	0,74	0,72
0,61	0,59	0,58	0,64	0,65	0,70	0,58	0,61	0,60	0,69	0,69	0,68
0,58	0,60	0,59	0,68	0,71	0,70	0,58	0,59	0,58	0,72	0,70	0,68
0,62	0,59	0,63	0,71	0,69	0,67	0,63	0,59	0,58	0,65	0,70	0,70
0,59	0,62	0,59	0,70	0,72	0,72	0,62	0,64	0,60	0,72	0,69	0,69
0,57	0,60	0,58	0,68	0,70	0,69	0,64	0,63	0,59	0,70	0,67	0,72
0,60	0,57	0,62	0,71	0,71	0,68	0,59	0,62	0,62	0,70	0,64	0,69
0,62	0,63	0,58	0,72	0,64	0,71	0,58	0,59	0,58	0,69	0,63	0,67
0,59	0,60	0,57	0,68	0,72	0,72	0,60	0,64	0,64	0,68	0,70	0,70
0,61	0,60	0,58	0,69	0,67	0,70	0,61	0,63	0,62	0,72	0,71	0,70
0,60	0,59	0,61	0,68	0,69	0,68	0,61	0,62	0,61	0,69	0,68	0,69

Figura 36. Resumen de datos para análisis estadístico.

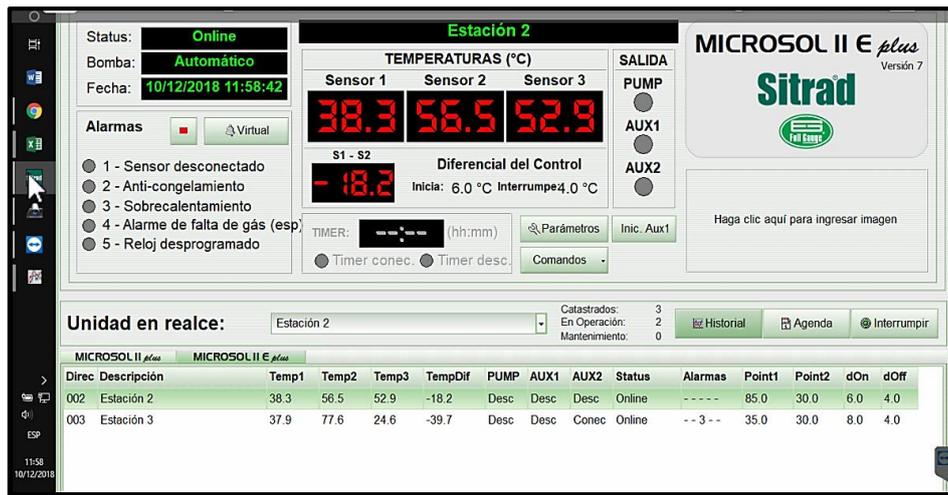


Figura 37. Registro de datos en SITRAD.

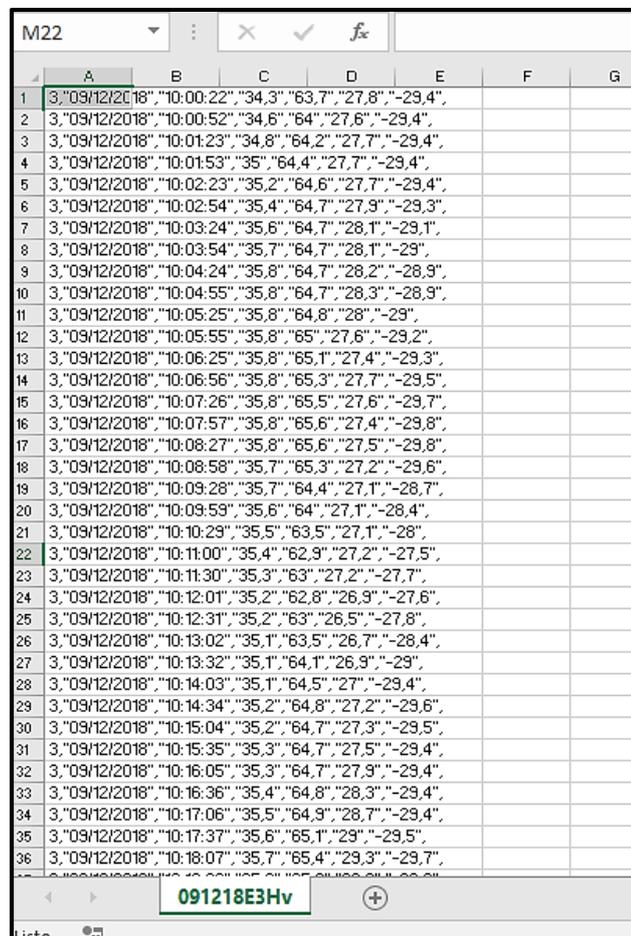


Figura 38. Datos del 09/12/18 de SITRAD exportados a EXCEL.

A - 5: Fotografías



Figura 39. Foto de colector solar normal.



Figura 40. Foto de adaptación de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical.



Figura 41. Foto de adaptación de placa aislante tipo colmena de abeja con configuración horizontal al colector solar.



Figura 42. Foto de colector solar con placa aislante tipo colmena de abeja con configuración vertical adaptado.



Figura 43. Foto de prueba de constante de tiempo.



Figura 44. Foto de la vista interna del tanque de pruebas.



Figura 45. Foto del circuito de los controladores



Figura 46. Instalación de una terma solar Sol y Vida de 120L.



Figura 47. Instalación de una terma solar Sol y Vida de doble panel.



Figura 48. Instalación de una terma solar Sol y Vida de 90L.