

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE
AGUA ACTIVO MEDIANTE EL USO DE POLITEREFTALATO DE ETILENO
INTERCONECTADO CON TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO Y
COBRE

AUTORES:

CALERO TIXE ERNESTO FABIÁN
VILLARROEL TAIPANTA DIEGO VINICIO

TUTOR:

QUITIAQUEZ SARZOSA WILLIAM GIOVANNY

Quito, agosto 2019

Cesión de derechos de autor

Nosotros, Calero Tixe Ernesto Fabián con C.I. 1715614846 y Villarroel Taipanta Diego Vinicio con C.I. 0503513905, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos PATRIMONIALES, en virtud que somos autores del trabajo de titulación: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA ACTIVO MEDIANTE EL USO DE POLITEREFTALATO DE ETILENO INTERCONECTADO CON TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO Y COBRE TIPO M”, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana., quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....
Calero Tixe Ernesto Fabián
C.I.: 171561484-6

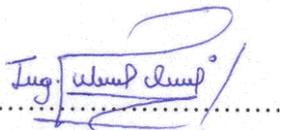
.....
Villarroel Taipanta Diego Vinicio
C.I.: 050351390-5

Quito, agosto de 2019

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo William Giovanni Quitiaquez Sarzosa, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA ACTIVO MEDIANTE EL USO DE POLITEREFTALATO DE ETILENO INTERCONECTADO CON TUBERÍA DE POLICLORURO DE VINILO Y COBRE TIPO M”, realizado por Calero Tixe Fabián Ernesto y Villarroel Taipanta Diego Vinicio, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo de final de titulación.

Quito, agosto de 2019



William Giovanni Quitiaquez Sarzosa

CI: 172160976-4

Dedicatoria

A Dios por la fortaleza, el conocimiento, así como la protección que me ha brindado para culminar con éxito esta etapa más de mi vida.

A mi esposa Rocío, con todo mi amor por que siempre me ha apoyado incondicionalmente, lo que me ha permitido seguir adelante con mis proyectos profesionales. A mis hijos: Amy, Nathan, Nathalia por su apoyo en cada momento, para los logros alcanzados en esta etapa de la vida.

A mi madre Marina Tixe, a mi padre Luis Calero por los consejos para culminar con éxito la carrera de Ingeniería Mecánica, A mis Suegros Carlos Albarán, María Tuquerres por sus palabras de ánimos, así como por ayuda prestada en este trayecto.

A mis amigos además de colegas interesados en reducir el impacto ambiental en Ecuador, gracias por sus acertadas sugerencias en mi tema investigativo, que me han permitido profundizar en la práctica los conocimientos adquiridos en nuestra vida profesional.

Calero Tixe Ernesto Fabián

A Dios por sostenerme en su mano desde que tome el reto de seguir la Ingeniería Mecánica, por haberme dado fortaleza, el valor cuando todo parecía perdido, pero lo más importante, por haberme dado unos padres valientes y temerosos de Él.

A mi madre Zoila Taipanta, a mi padre Néstor Villarroel, por el apoyo incondicional que me han brindado durante todo este camino duro, por el gran sacrificio que hicieron para darme la oportunidad de seguir estudiando, sobre todo por sus consejos, palabras de aliento que las llevo en el corazón que nunca jamás se borrarán de mi persona, de igual manera a mi hermano Paul Villarroel por apoyarme con su ayuda incondicional en momentos de dificultad tanto moral como académica. A la Universidad Politécnica Salesiana por haberme acogido como parte de su familia, por haberme ayudado en todo este proceso de formación académica con valores cristianos.

Al Ing. William Quitiaquez de manera especial por haber apoyado, ayudado a desarrollar este tema de titulación, con las correcciones pertinentes en el transcurso de esta investigación.

Villarroel Taipanta Diego Vinicio

Agradecimiento

De manera especial a la Universidad Politécnica Salesiana, al personal administrativo, a los docentes y personas en general que componen la facultad de Ingeniería Mecánica, quienes fueron de una u otra forma, participes directa o indirectamente de este proceso de aprendizaje tanto profesional como personal.

Al Ing. William Quitiaquez, M.Sc., tutor del proyecto, quién colaboró con la idea, planteamiento de este tema de proyecto, por su tiempo, conocimientos, así como la atención prestada, que fueron claves para la culminación del mismo, además un sincero agradecimiento a nuestro amigo Isaac Simbaña, quién compartió parte de sus conocimientos en software para que esta investigación sea posible.

Ernesto y Diego

RESUMEN

La presente investigación presenta la construcción, así como también un análisis del funcionamiento de cuatro colectores solares con una bomba de recirculación bajo diferentes parámetros de diseño. Éstos utilizan agua como fluido principal de trabajo, los componentes de dichos equipos son: dos colectores con tubería de PVC pintada de negro, dos colectores con tubería de cobre tipo M de diámetro nominal de 0,0127 m (1/2 plg) con una longitud de 15 m para cada tubería. Estas tuberías van por el centro de las botellas PET simulando un efecto invernadero. Se utilizaron dos colectores de PVC, dos de cobre tipo M con botellas de 1,35 litros y 3 litros respectivamente. Cada equipo cuenta con una bomba periférica de 0,37 kW (0,5 HP) para la recirculación del fluido de trabajo, estructuras metálicas para el soporte de las mismas, cuatro sensores de temperatura, también se ha dispuesto un recipiente de 65 litros para cada equipo. Nace y Trevor [1] mencionan que una botella PET tarda en descomponerse 400 años, se ha investigado el impacto que las botellas PET ocasionan al planeta. Se propone el uso de las botellas PET como una alternativa para el calentamiento de agua sanitaria. Las pruebas se realizaron durante cinco semanas en el horario de 9:00 am a 15:00 pm, con una toma de datos experimentales cada 10 minutos.

La temperatura máxima a la que llegó el colector con tubería de cobre tipo M con botellas PET de 3 litros es 51,5 °C, para el colector de tubería de PVC con botellas de 3 litros se alcanzó una temperatura 3 °C inferior, similar a la tubería de cobre tipo M con botellas de 1,35 litros, la de menor eficiencia fue la tubería de PVC con botellas de 1,35 litros calentando agua hasta 46 °C. En el colector de tubería de cobre tipo M con botellas PET de 3 litros, en días despejados se presentó una radiación solar promedio de 533,07 W/m², iniciando a las 09:00 horas a una temperatura inicial del agua de 18,7 °C, llegando a 35 °C al medio día con una temperatura final de 51,5 °C a las 15:00 horas. La implementación de estos colectores solares pretende reutilizar las botellas PET debido a que estos equipos son de fácil construcción, con materiales que no representan altos costos de implementación, así como de mantenimiento.

Palabras clave: Energía solar, colector solar, calentamiento de agua, reciclaje PET.

ABSTRACT

This research shows the construction and performance analysis of four solar collectors with a recirculation pump and different design parameters. These collectors use water as a primary working fluid. The components of such equipment are two PVC pipe collectors black painted and two M pipe nominal diameter collectors of 0,0127 m (1/2 inch) and 15 m of length for each pipe. The pipes go through the center of the PET bottles simulating a greenhouse. Two PVC manifolds and two type M copper bottles 1.35 and 3 liters, respectively there were used. Each equipment has a peripheral pump 0,37 kW (0.5 HP) for recirculation of the working fluid and metal support structures, four temperature sensors for each equipment and a container 65 liters per equipment. Nace and Trevor [1] suggest that a PET bottle takes 400 years to discompose. According to an appropriate environmental analysis and research, the impact of PET bottles causes the planet is huge. There are tons of bottles that are used by many people daily. For that reason, it has been proposed the use of PET bottles as an alternative for heating sanitary water. The tests were performed for five weeks from 9:00 a.m. to 3:00 p.m., with a shot of experimental data every 10 minutes.

The maximum temperature reached by the collector type M copper tubing and PET bottles 3 liters is 51.5 ° C, for the collector pipe PVC bottles 3 liters the lower temperature reached was 3 ° C similar to the type M copper tubing with bottles of 1.35 liters and less efficient was the PVC pipe 1, 35 liters by heating water to 46 ° C. The time that takes to heat the water collectors depends on weather. The M type copper pipe manifold type M copper tubing and 3 liter bottles reported an average solar radiation of 533,07 W / m² on clear days, starting at 09:00 at an initial temperature of 18.7 ° C water, reaching 35 ° C at noon and a final temperature of 51.5 ° C at 15:00 hours. The implementation of these solar collectors intended to reuse PET bottles because these devices are easily constructed with materials that do not represent high implementation costs and maintenance. It was used a wireless display to get data such as solar radiation, wind speed, ambient temperature, and a portable weather station. The time that takes to heat the water collectors depends on weather conditions. In the M type copper pipe manifold and 3-liter bottles, the average solar radiation was 533,07 W / m² on clear days, starting at 09:00 hours at an

initial temperature of 18,7 ° C water, reaching 35 ° C at noon and a final temperature of 51,5 ° C at 15:00. The implementation of these solar collectors intended to reuse PET bottles because these devices are easily constructed with materials that do not represent high implementation costs and maintenance. To obtain data such as solar radiation, wind speed, ambient temperature, a portable weather station was used with a wireless display. The time that takes to heat the water collectors depends on weather conditions. The M type copper pipe manifold, tubing, and bottles 3 liters illustrate an average solar radiation of 533.07 W / m² on without clouds days, starting at 09:00 at an initial temperature of 18.7 ° C water, reaching 35 ° C at noon and a final temperature of 51.5 ° C at 15:00. The implementation of these solar collectors intended to reuse PET bottles because these devices are easily construction with materials that do not represent high implementation costs and maintenance.

Keywords: Solar energy, solar collector, water heating, PET recycling.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
NOMENCLATURA	3
CAPÍTULO 1	5
1.1 Antecedentes de la investigación.....	5
1.2 Fuentes de energía	9
1.2.1 Fuentes renovables de energías	9
1.3 Energía Solar	10
1.3.1 Ventajas de la energía solar.....	11
1.3.2 Desventajas de la energía solar.....	11
1.4 La energía solar en el Ecuador	12
1.5 Demanda energética mundial	13
1.6 Efecto invernadero	15
1.7 Politereftalato de etileno (PET)	17
1.8 El PET a nivel mundial	17
1.9 Reciclaje del PET	18
1.10 Productos obtenidos a partir del PET.	20
1.11 Proceso de reciclaje del PET	20
1.12 Impacto ambiental	23
1.13 Preforma PET	23
1.14 Ciclo de vida del PET	25
1.15 Mecanismos de transferencia de calor	27
1.15.1 Transferencia de calor por Conducción	27
1.15.2 Transferencia de calor por convección	28

1.15.5	Convección Interna Forzada.....	29
1.15.6	Convección Natural	29
1.15.7	Transferencia de calor por radiación	29
1.15.8	Emisividad.....	30
1.15.9	Absortancia	30
1.16	Sistema de calentamiento de agua	30
1.17	Análisis de alternativas	31
1.17.1	Identificación de necesidades.....	31
1.17.2	Alternativas de solución.....	32
1.17.3	Elección de la alternativa	34
CAPÍTULO 2	39
2.1	Flujo de calor ganado por el agua.....	39
2.2	Transferencia de calor en régimen estacionario	40
2.2.1	Resistencias térmicas	40
2.2.2	Resistencia térmica por conducción de calor	41
2.2.3	Resistencia térmica por convección.....	42
2.3	Radiación térmica	42
2.3.1	Energía solar que incide sobre una superficie	42
2.3.2	Flujo de calor ganado por radiación	43
2.4	Conducción de calor en régimen transitorio	44
2.4.1	Número de Biot	44
2.4.2	Número de Fourier.....	44
2.4.3	Temperatura adimensional	45
2.5	Convección interna forzada.....	45
2.5.1	Flujos laminar y turbulento	45
2.5.2	Nusselt, flujo laminar.....	46
2.5.3	Número de Prandtl.....	46

2.5.4	Nusselt, flujo turbulento.....	47
2.5.5	Factor de fricción.....	47
2.5.6	Caída de presión	47
2.5.7	Pérdida de carga	48
2.6	Convección natural	48
2.6.1	Temperatura de la película	48
2.6.2	Número de Grashof.....	49
2.6.3	Número de Rayleigh	49
2.6.4	Correlación del Número de Nusselt para cilindro horizontal.....	50
2.7	Eficiencia del sistema	50
2.8	Características de la bomba periférica	51
2.9	Procedimiento para la obtención de los parámetros de diseño.....	51
CAPÍTULO 3		53
3.1	Información de los colectores solares	53
3.2	Funcionamiento del equipo	54
3.3	Obtención de datos	55
3.4	Datos de parámetros ambientales	56
3.5	Datos experimentales	56
3.5.1	Prueba 1.....	56
3.5.2	Prueba 2.....	59
3.5.3	Prueba 3.....	62
3.5.4	Prueba 4.....	65
3.5.5	Prueba 5.....	67
3.5.6	Radiación solar	70
3.5.7	Pérdidas de calor en el agua	71
3.5.8	Pérdidas de calor por convección	72
3.5.9	Pérdidas de calor por radiación	73

3.5.10	Calor incidente	73
3.5.11	Calor ganado	74
3.6	Eficiencia.....	75
3.7	Análisis económico del proyecto.....	77
3.7.1	Lista de equipos y materiales	77
3.7.2	Análisis ambiental	78
3.7.3	Costo para calentar agua con energía eléctrica	79
3.7.4	Costo por utilizar ducha eléctrica	79
3.7.5	Costo de bomba periférica en el colector solar	79
3.8	Análisis Financiero	80
3.8.1	Valor Actual Neto del proyecto (VAN).....	80
3.8.2	Tasa Interna de Retorno del proyecto (TIR)	80
3.8.3	Periodo de recuperación para el proyecto (PR).....	80
CONCLUSIONES		82
RECOMENDACIONES		84
BIBLIOGRAFÍA		85
ANEXOS		94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variación de la temperatura del colector Tipo I.....	7
Figura 2. Radiación total y eficiencias de los sistemas.....	8
Figura 3. Esquema de los diferentes tipos de energía.....	10
Figura 4. Trayectoria del OCP	13
Figura 5. Consumo de energía primaria mundial	15
Figura 6. Reciclaje del PET.....	19
Figura 7. Porcentaje de conversión en nuevos productos a partir del PET.....	20
Figura 8. Centro de Acopio de botellas PET	21
Figura 9. Lavado, secado y molido del PET	21
Figura 10. PET procesado en hojuelas o escamas.....	22
Figura 11. Pellets o esferas, resultado del PET	22
Figura 12. Preforma para garrafón de 20 litros.	24
Figura 13. Ciclo ideal del PET	27
Figura 14. Analogía de resistencias térmicas para el sistema	40
Figura 15. Estructura y elementos de los colectores.....	53
Figura 16. Vista superior del colector de tubería de cobre tipo M de 1,35 litros.	54
Figura 17. Estación meteorológica.	56
Figura 18. Aumento de temperatura del agua, prueba 1.	57
Figura 19. Influencia de la radiación solar en la temperatura del agua, prueba 1.	57
Figura 20. Aumento de temperatura superficial en los materiales, prueba 1.	58
Figura 21. Influencia de la radiación solar en los materiales, prueba 1.....	59
Figura 22. Aumento de temperatura del agua, prueba 2	60
Figura 23. Influencia de la radiación solar en la temperatura, prueba 2.	60
Figura 24. Aumento de temperatura superficial en los materiales, prueba 2.	61

Figura 25. Influencia de la radiación solar respecto en los materiales, prueba 2.	62
Figura 26. Aumento de temperatura del agua, prueba 3.	63
Figura 27. Influencia de la radiación solar en la temperatura del agua, prueba 3.	63
Figura 28. Aumento de temperatura superficial en los materiales, prueba 3.	64
Figura 29. Influencia de la radiación solar en los materiales solares, prueba 3.	64
Figura 30. Influencia de la radiación solar en la temperatura del agua, prueba 4.	66
Figura 31. Aumento de temperatura superficial, prueba 4.	67
Figura 32. Influencia de la radiación solar en materiales, prueba 4.	67
Figura 33. Aumento de temperatura del agua, prueba 5.	68
Figura 34. Influencia de la radiación solar en la temperatura del agua, prueba 5.	69
Figura 35. Aumento de temperatura superficial en los materiales, prueba 5.	70
Figura 36. Influencia de la radiación solar en los materiales, prueba 5.	70
Figura 37. Radiación solar, durante las pruebas realizadas.	71
Figura 38. Calor cedido durante las horas del día durante las pruebas realizadas.	72
Figura 39. Calor cedido por convección.	72
Figura 40. Calor cedido por radiación solar.	73
Figura 41. Calor incidente en los colectores solares PET y cobre tipo M.	74
Figura 42. Calor ganado en los colectores PET y cobre tipo M.	74
Figura 43. Eficiencia de los colectores según los días de prueba.	75
Figura 44. Eficiencia de los colectores vs la radiación.	76
Figura 45. Eficiencia de los colectores vs la temperatura del agua.	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados experimentales al someter agua embotellada a radiación solar..	6
Tabla 2. Propiedades del PET.....	17
Tabla 3. Informaciones arancelarias referidas al PET.	24
Tabla 4. Importación de preformas PET desde el año 2008 al 2012.	24
Tabla 5. Conductividad térmica de diferentes materiales.	28
Tabla 6. Valores de coeficiente de transferencia de calor por convección (h).	29
Tabla 7. Análisis de alternativas.	33
Tabla 8. Escala de valoración de alternativas.....	36
Tabla 9. Análisis cuantitativo de las alternativas.....	36
Tabla 10. Argumentos de cada necesidad	37
Tabla 11. Características técnicas de la bomba periférica	51
Tabla 12. Especificaciones de los materiales que integran los colectores.	54
Tabla 13. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga.	55
Tabla 14. Condiciones climáticas de los días de pruebas.	55
Tabla 15. Análisis económico de los elementos que integran los colectores.....	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Proceso de construcción.....	94
Anexo 2. Radiación global anual.....	104
Anexo 3. Datos obtenidos	105
Anexo 4. Tarifas de consumo eléctrico en el Ecuador	112
Anexo 5. Hoja técnica de la bomba periférica.	113

INTRODUCCIÓN

Yang et al. [5], mencionan, como uno de los avances sustanciales en la ingeniería de materiales industriales, el plástico ha dado lugar a un cambio enorme en la calidad de la vida humana. En el mundo de hoy, el plástico predomina en casi todas las fases y aspectos de nuestra vida, desde las botellas de agua hasta los electrodomésticos, El tereftalato de polietileno (PET) es la segunda forma más descartada de plástico después del polietileno [6]. Esto ha ocasionado que se tenga un grave impacto ambiental, Saxena et al. [7], hace referencia a un estudio realizado en 2007, en donde se demostró que el consumo mundial proyectado de botellas PET fue de 250 000 millones con una tasa de crecimiento incremental del 15 % cada año. Por lo que surge la necesidad de implementar una reutilización de este tipo de materiales y así evitar la nefasta contaminación mundial y posterior impacto en la naturaleza.

En las últimas décadas ha surgido la necesidad de reducir el consumo de combustibles fósiles para producir energía, combustibles que al ser quemados emiten al ambiente gases de efectos nocivos dañando el medio ambiente en general. Según Rosidin y Suyatna [8], el CO₂ es el gas más aportado por estos combustibles al efecto invernadero y representa el 80 % del impacto al medio ambiente, ocasionando así el famoso calentamiento global, Mahmood et al. [9], argumentan que de acuerdo con la agencia de protección ambiental (EPA), el calentamiento global se define como el aumento reciente, constante de la temperatura de la superficie de la tierra, lo que se traduce en desastres naturales por lo tanto catástrofes futuras para la Tierra.

Es por eso que las energías renovables; energías que no provienen de los combustibles fósiles, han cobrado impulso a nivel mundial con un significativo impacto sobre el desarrollo sustentable de las naciones, así la energía solar es una gran alternativa para ser aprovechada, pues esta llega a casi todo el mundo en forma de luz y calor, como. Mashail [10], afirma que se ha reducido o evitado 696 544 toneladas métricas de CO₂ mediante la instalación de 113 533 sistemas solares domésticos en California, por lo tanto, la adopción de tecnologías solares mitigaría, aliviaría significativamente los problemas asociados con el cambio climático.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de calentamiento de agua activo mediante el uso de politereftalato de etileno interconectado con tubería de policloruro de vinilo y cobre.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar en diferentes fuentes bibliográficas información sobre sistemas solares para el calentamiento de agua.
- Diseñar el calentador solar activo utilizando politereftalato de etileno interconectado con tubería de policloruro de vinilo y cobre.
- Validar el funcionamiento del colector solar activo mediante pruebas experimentales.

NOMENCLATURA

A_o	Área superficial [m ²]
A_1	Constante, de tabla en función del número de Biot
A_c	Área de la división transversal [m ²]
A_s	Área superficial, para un cilindro [m ²]
Bi	Número de Biot
C	Constante por configuración geométrica
C_p	Calor específico del agua [kJ/kg °C]
D	Diámetro del tubo [m]
f	Factor de fricción para tubos lisos
F_{12}	Factor de visión
Fo	Número de Fourier
g	Gravedad
G_D	Radiación solar directa [W/m ²]
G_d	Radiación solar difusa [W/m ²]
Gr_L	Número de Grashof
h	Coefficiente de convección [W/m ² °C]
h_L	Perdida de carga
h_r	Factor de transferencia de calor mediante radiación solar [W/m ² °C]
J_0	Constante, dato de tabla en función del número de Bessel
k	Coefficiente de conducción [W/m °C]
L	Longitud del cilindro [m]
L_C	Longitud geométrica característica [m]
m	Flujo másico [kg/s]
n	Constante por configuración geométrica
Nu	Número de Nusselt
ΔP_L	Caída de presión [Pa]
Pr	Número de Prandtl
\dot{Q}_{total}	Razón de calor total, hacia el fluido [W]
\dot{Q}_{conv}	Razón de calor por convección [W]
\dot{Q}_{rad}	Razón de calor por radiación [W]
r_o	Radio del cilindro [m]
r_2	Radio exterior [m]
r_1	Radio interior [m]
Ra_L	Número de Rayleigh
R_{cil}	Resistencia térmica del cilindro [°C/W]
R_{conv}	Resistencia termina por convección [°C/W]

Re	Número de Reynolds
R_{total}	Resistencia térmica total [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$]
t	Tiempo [s]
T_{ic}	Temperatura del interior de la manguera (cilindro) [$^{\circ}\text{C}$]
T_c	Temperatura de la cubierta [K]
T_{cielo}	Temperatura del cielo [K]
T_f	Temperatura de la película [$^{\circ}\text{C}$]
T_{fi}	Temperatura del agua al ingreso del calentador [$^{\circ}\text{C}$]
T_{fo}	Temperatura del agua al finalizar el recorrido por el calentador [$^{\circ}\text{C}$]
T_i	Temperatura inicial del fluido [$^{\circ}\text{C}$]
$T_{(r,t)}$	Temperatura en función de la posición y el tiempo [$^{\circ}\text{C}$]
T_r	Temperatura del receptor [K]
T_s	Temperatura de la superficie [$^{\circ}\text{C}$]
T_{∞}	Temperatura de los alrededores [$^{\circ}\text{C}$]
V_{prom}	Velocidad promedio [m/s]

Abreviaturas

PET	Politereftalato de etileno
SODIS	Método solar de desinfección de agua
PVC	Policloruro de vinilo
IPCC	Grupo de expertos intergubernamentales sobre cambio climático
AIE	Agencia internacional de la energía
TPA	Ácido tereftálico
EG	Etilenglicol

Símbolos griegos

ρ	Densidad del fluido [kg/m^3]
τ	Número de Fourier
α	Difusividad térmica [m^2/s]
θ_{cil}	Temperatura adimensional [$^{\circ}\text{C}$]
λ_1	Constante, de tabla en función del número de Biot
ν	Viscosidad cinemática del fluido [m^2/s]
μ	Viscosidad dinámica del fluido [$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$]
β	Coefficiente de expansión volumétrica [$1/\text{K}$]
σ	Constante de Stefan-Boltzmann [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}^4$]
ε_o	Emisividad de la cubierta del material
ε_2	Emisividad del tubo de cubierta
ε_1	Emisividad del tubo receptor

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA

El presente capítulo se centra en el calentamiento de agua activo y sus aplicaciones para el uso residencial. Posteriormente se explica los elementos que intervienen para el calentamiento. Se presenta información, características, funcionamiento, en la cual se considera la historia y clasificación de los calentadores de agua. Se analiza diferentes métodos de calentamiento de agua con diferentes elementos de absorción de calor.

1.1 Antecedentes de la investigación

En regiones de África, América Latina y ciertas partes de Asia, 0,6 millones de muertes de niños menores de 5 años se debieron a diarrea en 2012 por contaminación del agua [11]. Este problema se resuelve tan solo con hervir el agua, pero para ciudades o pueblos como la India debido a la pobreza extrema es imposible, Lawrie et al. [12], menciona la desinfección solar del agua denominada (SODIS, por sus siglas en inglés), es el proceso mediante el cual las botellas de plástico, generalmente hechas con PET, se llenan con agua y se exponen a la luz solar durante aproximadamente 6 h bajo un cielo despejado al 50 % para desinfectar el agua de patógenos causantes de diarrea (dosis de 2000 kJ m^{-2} de radiación solar con un margen de 350–450 nm esto en lo que a longitud de onda se refiere) [12]. McGuigan et al. [13], indican que estudios de laboratorio han demostrado que SODIS desinfecta eficazmente las bacterias fecales (como *Escherichia coli* (*E. coli*)), así como otros patógenos transmitidos por el agua, como virus, protozoos y hongos. Para el método SODIS, hay poca diferencia en los tiempos de desinfección bacteriana ya que las temperaturas del agua que se obtienen van de 12 a 40 ° C [12]. Lo cual lo hace un método barato y eficaz en este tipo de tratamiento de agua mediante su calentamiento.

Bach et al. [14], mencionan con un ejemplo utilizando el Politereftalato de etileno (PET), con agua embotellada. El agua embotellada se expuso a la luz solar durante 2, 6 y 10 días durante julio y agosto de 2010 en la estación meteorológica de Bandol, en el sur de Francia. Las muestras se colocaron orientadas al sur con una inclinación de 45 grados siguiendo el protocolo descrito en el método estándar ISO 877. Durante

los experimentos, se midió la irradiación solar recibida por el material de envasado para cada duración de exposición y se controló la temperatura del agua embotellada utilizando Thermo-tracers cuyos datos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados experimentales al someter agua embotellada a radiación solar.

Días de exposición	Irradiación MJ/m ²	Temperatura del agua (°C)					
		Botellas marca A			Botellas marca B		
		Media	Min.	Max.	Media	Min.	Max.
2	47,43	25,3	16,5	42,5	.	.	.
6	119,79	26,3	17	43,5	27,4	16,5	45,5
10	237,90	27,6	16,5	45,5	.	.	.

Todas las medidas fueron tomadas en reactores de PET cilíndricos que tenían una alta transmitancia de espectro UV (aproximadamente el 80 % entre 360 y 380 nm) y paredes transparentes lisas [14].

Los reactores de PET fueron más eficientes en calentar agua en concentradores solares durante todos los días probados. El agua alcanzó 50 °C y se mantuvo a esta temperatura durante más de 2 horas en días de clima fuerte [15].

Para reducir la dependencia de la generación termoeléctrica y la vulnerabilidad del sistema eléctrico a las variaciones climáticas, es necesario ampliar el uso de fuentes alternativas, así como la racionalización de la energía. Wong et al. [16], mencionan que, en este campo hay varias posibilidades para lograr este objetivo. Entre las fuentes de energía alternativa, la energía solar es una de las más prometedoras.

En el trabajo de Ozgen et al. [17], investigan experimentalmente un dispositivo para insertar una placa absorbente, hecha de latas de aluminio en el canal de doble paso en un calentador solar de placa plana (SAH, por sus siglas en inglés). Este método mejora sustancialmente la eficiencia del colector mediante un incremento en la velocidad del fluido, a su vez también mejorar el factor de transferencia de calor entre la placa absorbente y el aire. Estos tipos de colectores se habían diseñado como una propuesta para utilizar materiales de aluminio, para construir placas absorbentes de SAH a un costo adecuado [17]. El colector había sido cubierto con una placa de

vidrio de 4 mm para reducir las pérdidas por convección a la atmósfera. Tres placas absorbentes diferentes habían sido diseñadas y probadas para un estudio experimental. En el primer tipo (Tipo I), las latas se habían escalonado como zigzag en la placa absorbente, mientras que en el Tipo II se colocaron en orden. Tipo III es una placa plana (sin latas). Se realizaron experimentos para tasas de flujo de masa de aire de 0,03 kg / s y 0,05 kg / s. La mayor eficiencia se obtuvo para el Tipo I a 0.05 kg / s como lo indica en la Figura 1 además, se presentó la comparación entre la eficiencia térmica de la SAH probada en este estudio. Al analizar los resultados, es evidente que el uso de doble flujo proporciona una mayor eficiencia. Los flujos de aire más grandes producen una mayor eficiencia. También se señaló que el sistema es más eficiente con latas que sin latas [16].

Ozgen et al. [17], indican en la Figura 1 el mejor colector con las variaciones horarias de las temperaturas del Tipo I y el caudal másico es de 0.05 kg/s, durante los experimentos. Al igual que la radiación solar es de $1003 \text{ W/m}^2 \square \text{ día}$. Como era de esperar, aumenta. Por la mañana a un valor máximo de $1003 \text{ W/m}^2 \square \text{ día}$ al mediodía y comienza a disminuir por la tarde. Las temperaturas medias diarias en la superficie absorbente se miden como $36.84 \text{ }^\circ\text{C}$, $39.87 \text{ }^\circ\text{C}$, $45.44 \text{ }^\circ\text{C}$ y $48.67 \text{ }^\circ\text{C}$ para T_1 , T_2 , T_3 y T_4 , respectivamente. Temperaturas diarias del aire, siendo la temperatura de ingreso al colector ($T_{a, in}$) y temperatura a la salida del colector como ($T_{a, out}$) del colector tipo I a una velocidad de flujo másico de 0,05 kg/s.

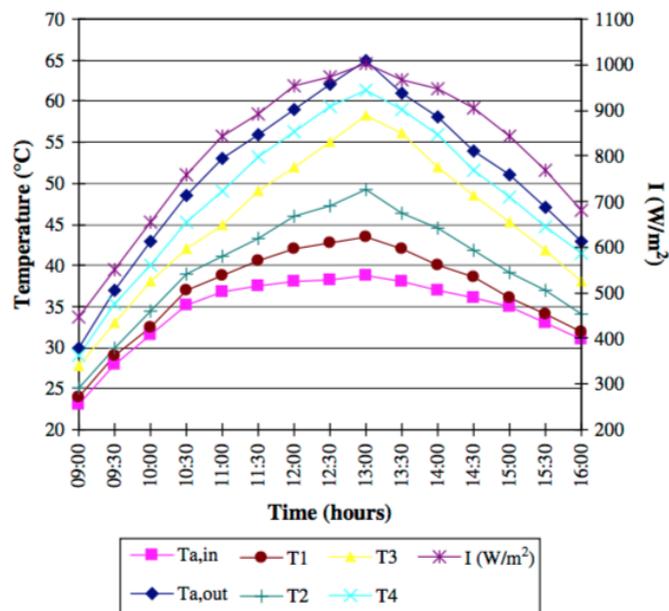


Figura 1. Variación de la temperatura del colector Tipo I en m 1/4 plg, 0.05 kg/s estado [17].

Wong et al. [16], aclaran que las latas de aluminio, el 10 de octubre de 2012, alcanzaron los 54.3 ° C. Los valores generales de los dos días de radiación se pueden ver en la Figura 2, en la cual toma en cuenta el estudio de Lenz et al. [18]. En el día de baja radiación (17 de octubre de 2012), fue de 2739 Wh/m²·día y en el día de alta radiación (10 de octubre de 2012), el valor fue de 4415 Wh/m²·día.

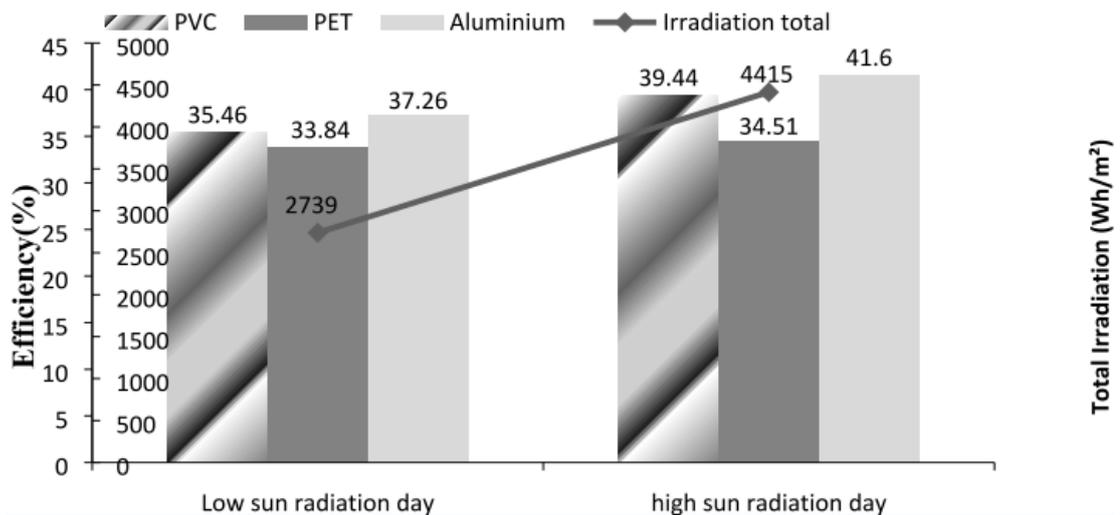


Figura 2. Radiación total y eficiencias de los sistemas para los dos días caracterizados [18].

Así en una mayor radiación, el sistema de PET absorbió 1520 W·h/m²·día, el aluminio absorbió 1840 W·h/m²·día y PVC absorbió 1740 W·h/m²·día. Estos valores de energía absorbida fueron cercanos a los encontrados por Lenz et al. [19], que obtuvo, en un tipo de colector de placa plana, una energía promedio absorbida en un día de 1905 W·h/m²·día. Este valor es inferior al encontrado por Buonomano et al. [20], que fue de 2040 W·h/m²·día, durante 155 días.

Lenz et al. [18], evalúan un sistema de calentamiento de agua construido con materiales comúnmente utilizados en las construcciones de casas, tubo PVC diámetro 20 mm y botellas PET diámetro 0.1 m. El colector probado es una placa plana de 1 m², con lecturas y recolección de datos cada 5 minutos durante 1 año con un volumen a calentar de 31.5 litros, 6 tubos PVC con longitud de 0,9 m dispuestos sobre la placa plana por entre el PET. La recopilación de datos y el análisis mostraron que el sistema presentó una eficiencia mensual que oscila entre 33,7 y 53,54 %, así como la energía absorbida entre 30,79 kW·h/m² y 75,29 kW·h/m² [18]. Los resultados muestran que el sistema es una buena opción para uso en calefacción

de agua residencial o rural debido a la disminución en la factura eléctrica, alcanzando temperaturas máximas de 38.9 °C desde una temperatura inicial de 17 °C.

1.2 Fuentes de energía

Las fuentes de energía se encuentran divididas en dos grupos principales, conocidas como energías no renovables y las energías renovables.

1.2.1 Fuentes renovables de energías

La energía se manifiesta de distintas formas, gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, entre otros, existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía [21].

Prácticamente, toda la energía que se dispone, según Subiela et al. [21], provienen del Sol. El Sol produce el viento, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de nubes, las lluvias, entre otros [21]. A continuación, se presentan las más importantes.

Energía solar. Explotan la energía irradiada por el sol para producir electricidad mediante procesos fotovoltaicos o mediante la energía por concentración solar, generando energía térmica (con fines de calefacción o refrigeración), por medios pasivos para usos de iluminación directa, así también posiblemente para producir combustibles para el transporte o de otra índole [22].

Energía eólica. Es aquella que explota la energía cinética del aire en movimiento [23]. La aplicación de mayor interés para la mitigación del cambio climático consiste en producir electricidad a partir de grandes turbinas eólicas instaladas en tierra firme (en tierra) o en el mar o agua dulce (aguas adentro) [23].

Mareomotriz. Suministra electricidad mediante el aprovechamiento de las olas del mar, con la energía cinética de estas, en su posterior transformación y aprovechamiento [24].

Hidráulica: Suministra electricidad, mediante la formación artificial de presas dispuestas en un río de gran caudal con el fin de aprovechar su corriente o caída de agua [25]. Para Edenhofer et al. [23], mencionan que este tipo de energía cubre las necesidades de las diferentes zonas urbanas, así como también las necesidades de zonas rurales ayudando a su desarrollo.

1.3 Energía Solar

Es la fuerza energética con el propósito de sostener la vida en la Tierra para todas las plantas, animales y personas. Proporciona una solución convincente para que todas las sociedades satisfagan sus necesidades de fuentes de energías limpias que son abundantes en el presente [26]. Denisse [27], menciona que el sol produce fenómenos que brindan o dan origen a recursos en los que se basan la energía renovable como se muestra en la Figura 3.

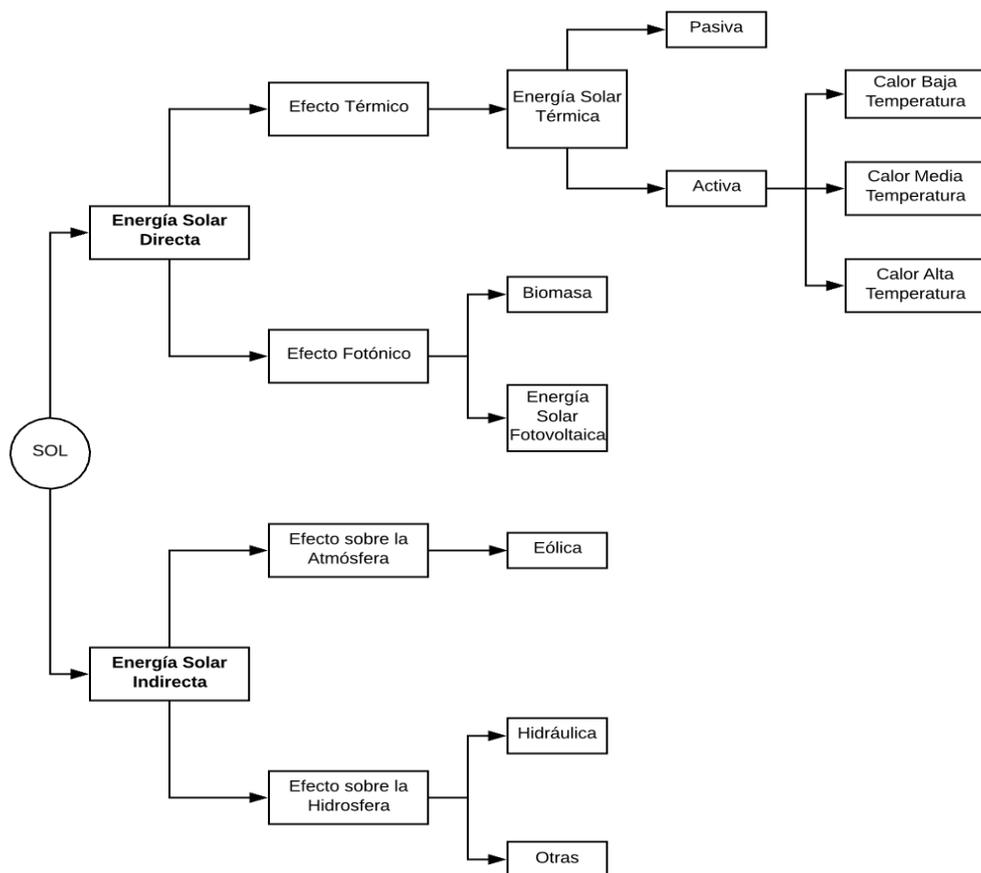


Figura 3. Esquema de los diferentes tipos de energía que pueden obtenerse a partir del Sol [27].

La fuente de energía solar son las interacciones nucleares en el núcleo del Sol, donde la energía proviene de la conversión del hidrógeno en helio, así esta energía es una gran alternativa para ser aprovechada, pues esta llega a casi todo el mundo en forma de luz y calor. Para Foster et al. [26], la luz solar es la mayor fuente de energía libre de carbono más grande del planeta, más energía de la luz solar golpea la Tierra en 1 hora (4.3×10^{20} J) que toda la energía consumida en el planeta en un año (4.1×10^{20} J).

1.3.1 Ventajas de la energía solar

La energía solar demuestra ser extremadamente beneficiosa, no solo para el medio ambiente sino también financieramente [26]. Además, debido a la mayor demanda, la tecnología ha mejorado considerablemente, convirtiéndose en una fuente de energía limpia eficiente, presentando las siguientes ventajas.

- Brinda calefacción en invierno, refrigeración en verano.
- Se encuentra permanente en el geo sistema.
- Es un recurso gratuito, renovable día a día.
- No tiene desechos, tampoco residuos.
- No necesita descontaminación, por lo tanto no genera costos.
- Obliga a innovar a los ingenieros desarrolladores.
- Fomenta la investigación.

1.3.2 Desventajas de la energía solar

- Elevado costo de tecnología inicial a implementar.
- Obliga a una investigación interdisciplinaria.
- Necesita de centros de investigación.
- Necesita de ingeniería aplicada.
- Falta de interés por los gobiernos de turno.

1.4 La energía solar en el Ecuador

Actualmente el Ecuador tiene un gran reto del cambio de la matriz energética. Se han promovido esfuerzos para gestar aplicaciones utilizando la energía solar en diversos campos y aplicaciones, sin embargo, estas tecnologías no han logrado desarrollarse adecuadamente, lo que conlleva a retrasos, abandonos y baja confiabilidad en la aplicación de esta energía limpia, frente a potenciales clientes o beneficiarios de este tipo de proyectos [28].

Arla et al. [29], mencionan que para poner en funcionamiento tecnologías que utilicen temperaturas de sol media y alta, es necesario que se pueda contar con una radiación directa de no menos a 3 horas por día con registros de irradiancia en el intervalo de 500 a 1000 W/m².

Delgado y Orellana [28], hacen referencia a que en áreas cercanas a la línea equinoccial, la orientación de la radiación solar directa cae casi perpendicular al plano horizontal de la tierra, estos estudios muestran que el Ecuador debido a su ubicación geográfica, tiene un alto potencial de radiación solar, donde estimaciones de radiación incidente media es de 3 kW·h/m²·día - 4 kW·h/m²·día.

En la Figura 4 se muestra como referencia al Oleoducto de Crudos Pesados (OCP), con puntos en donde se encuentran estaciones climatológicas a lo largo de 485 km para obtención de datos de radiación solar [29].



Figura 4. Trayectoria del OCP [29].

Los valores medios anuales representativos de la radiación solar global fueron tomados entre las 06:00 horas hasta las 19:00 horas, en los 15 puntos utilizados como referencia de la región norte ecuatoriana, mediante cuatro métodos de medición (Ver Anexo 2). Los valores presentados de software, satélite y modelo matemático, respecto a las mediciones realizadas en superficie, difieren en valores aproximados de $2 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{día}$. Este estudio demuestra que en el Ecuador si son viables los proyectos que en su funcionamiento utilicen energía solar.

1.5 Demanda energética mundial

La demanda mundial de energía es una función de la población, así como el nivel de vida en crecimiento, la proyección de la demanda incluye nuevos requerimientos de energía que se centrarán en el tratamiento previo del agua, así como para la gestión del carbono. Bp World Energy [30] afirma que el consumo mundial de energía primaria (energía que se encuentra en la naturaleza antes de ser transformada) creció con fuerza en 2017, liderado por el gas natural, las energías renovables, mientras que la participación del carbón en la combinación energética sigue disminuyendo. En el 2016 la energía primaria tuvo un promedio de consumo del 1,2 %, mientras que en el

2017 los valores promedios fueron de 2,2 %, siendo este valor uno de los crecimientos en consumo más rápidos registrados desde el 2013 [30].

Emisiones de Carbono. El gasto de energía ocasiona las emisiones mundiales de carbono, estas tuvieron un incremento del 1,6 %, después del poco o ningún crecimiento durante los tres años, del 2014 al 2016 [30].

- **Petróleo.** En el 2017 se obtuvo un promedio del 1,8 % en cuanto al consumo y demanda mundial del petróleo, en otras palabras 1,7 millones de barriles por día (b/d), por encima de su promedio de 10 años de 1,2 % esto por tercer año consecutivo, estos resultados demuestran a EE. UU, China con 190 000 b/d y 500 000 b/d respectivamente, fueron los actores principales para que el crecimiento de la producción mundial de petróleo aumente en 600 000 b/d [30].
- **Gas Natural.** A nivel mundial en el 2017 se tuvo un crecimiento del 3 % en cuanto a consumo de gas natural, es decir 96 mil millones de metros cúbicos (bcm, por sus siglas en inglés) que es un consumo mucho más rápido comparado con el 2010, mientras que la producción global tuvo un incremento de 4 %, es decir 131 bcm siendo el doble de crecimiento en comparación al promedio que se tiene de los últimos diez años [30].
- **Carbón.** En 2017 el consumo de carbón a nivel mundial se incrementó en 1 %, es decir 25 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep), el primer crecimiento desde 2013 así también la producción mundial de carbón creció en 105 pies o 3,2 %, la tasa de crecimiento más rápida desde 2011, por lo tanto la producción aumentó en 56 pies en China y 23 pies en los Estados Unidos [30].

Las energías renovables en el mundo crecieron un 17 %, superior al promedio de los últimos 10 años. El viento fue uno de los elementos naturales más contribuyentes para con el crecimiento de las energías renovables, mientras que con una representación de solo el 21 % del total, la energía solar proporcionó más de un tercio de este crecimiento [30]. En la Figura 5 se observa, que el consumo del carbón, gas natural, petróleo donde se mantienen en altos consumos a nivel mundial

mientras que las energías renovables van creciendo, pero aún no tienen el suficiente apoyo gubernamental para que puedan reemplazar a los combustibles fósiles.

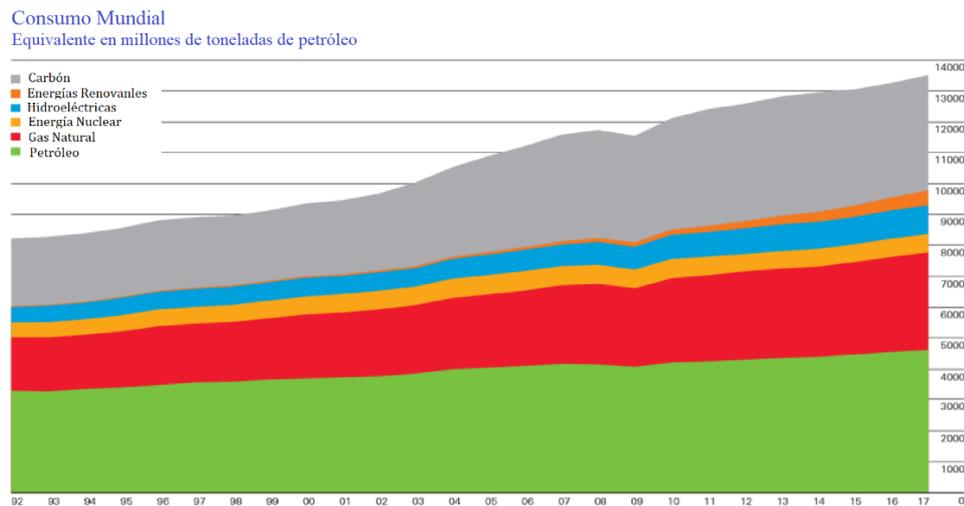


Figura 5. Consumo de energía primaria mundial [30].

1.6 Efecto invernadero

Martínez et al. [31] mencionan que, en la atmósfera a su vez en el clima actúan dos tipos de radiación claramente distintos, la luz visible originada en el Sol y la radiación infrarroja (invisible) emitida por la Tierra. La enorme diferencia entre ellas se debe a la gran disparidad de temperaturas: el Sol emite su radiación como a 6000 °C; en cambio, los elementos de la Tierra (el suelo, el mar, los casquetes polares, las capas atmosféricas, las nubes, entre otros.) lo hacen a temperaturas que andan alrededor de 0 °C [31]. Por esta gran diferencia en su longitud de onda, a la radiación solar se le llama de onda corta, a la terrestre de onda larga, constituyendo espectros francamente ajenos.

El efecto invernadero resulta que el aire es (muy) transparente para la radiación de onda corta, por el contrario, opaca a la de onda larga. Es decir que la atmósfera es un filtro radiactivo, que deja pasar los rayos solares; uno de ellos es absorbido por la superficie terrestre (también por los demás componentes de la Tierra), que se calientan como consecuencia, entonces emite la radiación terrestre, que es detenida o absorbida por la atmósfera en general [21]. Las capas atmosféricas van sucesivamente absorbiendo, calentándose y reemitiendo (hacia arriba luego hacia abajo) radiación térmica procedente de abajo [31].

Sin la atmósfera, la temperatura media de la Tierra sería de unos $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y no los $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ actuales. Toda la luz solar que recibida alcanzaría la superficie terrestre pero simplemente volvería, sin encontrar ningún obstáculo, al vacío. La atmósfera aumenta la temperatura del globo terrestre unos $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y permite la existencia de océanos, así como también de criaturas vivas [21]. Por la ayuda proporcionada por la atmósfera, una pequeña parte de este calor regresa al universo, la proporción faltante es retenida en las capas inferiores que forman la atmósfera, estas capas encierran gases como CO_2 , vapor de agua, metano entre otros, estos tienen la capacidad de absorber rayos infrarrojos [21].

El efecto invernadero como tal puede decirse que es una gran capa o manta que se opone a la salida del calor hacia el universo, es decir que a medida que estos gases aumentan su temperatura y una parte de su calor regresa a la superficie de la tierra [21].

Según estudios realizados por el Grupo de Expertos Intergubernamentales sobre Variaciones Climáticas (IPCC) en las últimas dos décadas, aproximadamente las $\frac{3}{4}$ partes de las emisiones de CO_2 fueron producidas por la quema de combustibles fósiles [31]. Para Ortin et al. [21], el resto se debe, sobre todo, a la deforestación. En la actualidad, los océanos y los suelos están absorbiendo aproximadamente la mitad de estas emisiones; a pesar de lo cual las concentraciones atmosféricas de CO_2 se han incrementado un 31 % desde 1750 al año 2000, y han pasado de 280 partes por millón (ppm) a casi 370 ppm en el año 2000.

Por todo ello, el Protocolo de Kioto tiene como objetivo disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, fijando una reducción del 8 % de estos gases para el 2012, con respecto al nivel de emisión de 1990 [21]. Se podría concluir que, aunque las reservas de combustibles fuesen eternas (que no lo son), a la larga, el planeta Tierra no sería capaz de absorber las emisiones de CO_2 que se desprenderían de su quema, por lo menos no sin terminar con la vida tal como se la conoce [21].

1.7 Politereftalato de etileno (PET)

Es un polímero de ingeniería, Wang et al. [32], mencionan que en las últimas décadas, los materiales de PET se utilizaron ampliamente en productos plásticos, el plástico con el paso del tiempo ha logrado convertirse en inevitable y parte integral de las actividades diarias pues se encuentra presente casi en todo lugar al que se mira alrededor, su acumulación en el medio ambiente trae cada vez más atención.

Solo en 2013 se produjeron aproximadamente 56 millones de toneladas de materiales PET, lo que provocó una mayor producción industrial de sus monómeros, ácido tereftálico (TPA) y etilenglicol (EG), ambos derivados del petróleo crudo [32]. En la Tabla 2 se observa las propiedades con los valores que componen al PET.

Tabla 2. Propiedades del PET.

Propiedades	Valores
Fórmula molecular	$(C_{10}H_8O_4)_n$
Masa molar	variable
Densidad	1,38 g/cm ³ (20 °C)
Punto de fusión	>250 °C
Punto de ebullición	>350 °C (se descompone)
Solubilidad en agua	insoluble
Conductividad térmica	0,15 – 0,24 W/m□K
Índice de refracción	1,57 – 1,58
Capacidad calorífica específica C	1.0 kJ/(kg□K)

1.8 El PET a nivel mundial

Varios informes recientes indican la grave situación global asociada con el uso de plástico en el mundo. Nace [1], menciona dos estadísticas que saltan de inmediato ante la problemática del PET. Primero, que a nivel mundial los humanos compran un millón de botellas de plástico por minuto. El segundo, el 91 % de todo el plástico no se recicla. Además de eso, se estima que más de medio billón de botellas de plástico se venderá en 2020 [1].

Las botellas PET, tardan 400 años en descomponerse naturalmente, pero es altamente reciclable, se puede esperar hasta que las botellas se descompongan de forma natural, el problema se halla en que no hay signos en el mundo de que se reduzca el uso de plásticos, el reloj de descomposición de plástico se reinicia constantemente por lo que los esfuerzos de reciclaje aún son ineficientes [1].

Se estima que para 2050 el océano contendrá más plástico que el pescado en peso. El plástico que encuentra su camino en los océanos inevitablemente supondrá un riesgo de ingestión por parte de aves marinas, peces, mamíferos marinos, entre otros. No es raro ver artículos de vida marina muertos con importantes cantidades de plástico en el estómago [1].

1.9 Reciclaje del PET

Es difícil hoy en día encontrar cualquier alimento o líquido que tenga o no esté envasado en botellas de PET.

Gopalakrishna y Reddy [33] mencionan que existen tres niveles para procesar desechos plásticos.

- Primero está el pre consumo o rechazo en materia primaria que se da lugar en las instalaciones de producción.
- Segundo es el reprocesamiento físico en el que el producto se trata para eliminar contaminantes, se forman en escamas o pellets para su posterior procesamiento.
- El tercero es el reprocesamiento químico en el que el plástico se despolimeriza para recuperar el monómero u oligómero original.

La materia prima de residuos plásticos generalmente no es homogénea con el tiempo, y los elementos de residuos plásticos tienen una densidad comparativamente baja [34]. En la Figura 6, se muestra el proceso que tiene el PET para su reciclaje y posterior reutilización.



Figura 6. Reciclaje del PET [35].

Como resultado, generalmente son compactados o triturados antes del transporte para reducir los costos de entrega. Se puede encontrar muchas personas mezcladas en el negocio de reciclaje de PET, desde los recolectores de residuos hasta pequeños y medianos distribuidores, recicladores, productores que utilizan PET para productos variados [34].

Países más desarrollados, incluyendo Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, Suecia han proporcionado incentivos financieros para promover el reciclaje de botellas de PET [34]. Por ejemplo, los estados de EE. UU. Ofrecen un incentivo que va desde 5 al 10 % por botella para reciclaje. Se impone una tarifa de reciclaje voluntario de USD. 0,02 a 0,08. Entre las botellas de PET, se ha obtenido datos que muestran que el 50 % de todas las botellas de PET se utilizan como botellas de agua, en la mayoría de países [33].

Los plásticos generalmente se transforman en residuos tipo escamas, por lo general, se lavan para eliminar residuos de alimentos, fibras de la pulpa además de los adhesivos. El desarrollo tecnológico de las plantas de tratamiento de estos residuos utiliza solo $2 \text{ m}^3 - 3 \text{ m}^3$ de agua por tonelada de material, aproximadamente la mitad de la de los equipos antiguos [33]. Sin embargo, existen innovadoras tecnologías alternativas para la reducción de sustancias orgánicas, contaminantes de la superficie de las escamas, consiste en la "limpieza en seco", estas nuevas tecnologías limpian mediante fricción sin la necesidad del uso de agua [36].

1.10 Productos obtenidos a partir del PET.

En la Figura 7, se muestra como referencia a EE. UU debido a sus avances tecnológicos en este tema, los porcentajes de transformación del PET en nuevos materiales o productos.

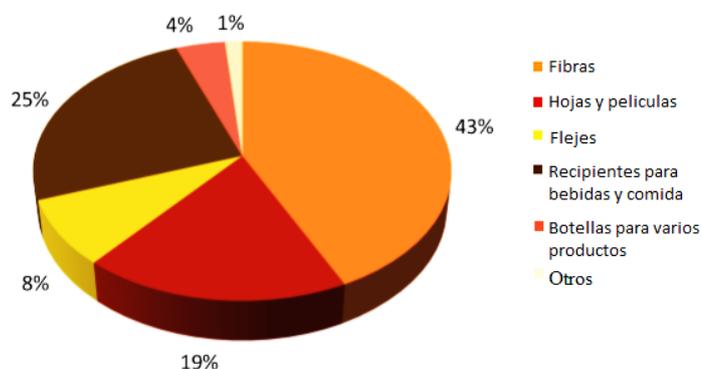


Figura 7. Porcentaje de conversión en nuevos productos a partir del PET en EEUU [37].

Es sorprendente, bastante desafortunado que exista un número muy limitado de legislaciones sobre reciclaje de botellas de PET a nivel mundial [33]. A pesar de que las botellas de PET son uno de los productos con incentivos, uno de los productos más utilizados, el alcance del reciclaje es limitado, excepto en algunos países. Las leyes de reciclaje solo especifican los niveles de contaminantes que se eliminarán y en algunos casos la cantidad de PET reciclado o permisible también está restringida [33].

1.11 Proceso de reciclaje del PET

En el Ecuador debido a los incentivos económicos en los últimos años se ha adoptado el reciclaje del PET como una forma o fuente de trabajo, existen campañas de reciclaje e incluso se ha visto en centros comerciales e incluso en algunos centros de atención al público contenedores orientados al reciclaje del PET, a pesar de todos estos esfuerzos en el reciclaje, la población ecuatoriana no ha adoptado una cultura orientada al reciclaje, esto se puede evidenciar al salir a las calles donde se puede observar botellas PET botadas en las aceras, desechadas en basureros que terminan contaminadas con desechos orgánicos que afectan al medio ambiente [38].

En el Ecuador existen personas dedicadas al reciclaje del PET, estas personas reciben un incentivo económico de USD \$ 0,42 a \$ 0,65 por kilogramo, dependiendo de la empresa recicladora [38].

1. Captación de las botellas PET en los centros de acopio autorizados



Figura 8. Centro de Acopio de botellas PET [38].

2. Posteriormente, los envases son llevados hacia un proceso de selección, clasificación automática o manual, este proceso permite separar el PET por colores y calidad. Aquí también se lavan, se retiran las etiquetas y tapas antes de ir ha secado y molido.



Figura 9. Lavado, secado y molido del PET [38].

3. El PET, procesado en una máquina, para convertirse en pequeñas hojuelas o escamas, este procedimiento no toma más de dos o tres minutos.



Figura 10. PET procesado en hojuelas o escamas [38].

4. Estas escamas se ingresan en una máquina para ser calentadas formando una resina manipulable, como resultado se obtiene pellets (pequeñas esferas) de PET grado alimenticio que luego se enfrían, pasan por un control de calidad para ser empacadas luego vendidas localmente o exportadas. Este último proceso puede durar ocho horas.



Figura 11. Pellets o esferas, resultado del PET [38].

Los pellets o esferas son utilizados para producir la forma antes de la botella que luego, al someterla al calor, se sopla para obtener un nuevo contenedor o envase.

Intercia una empresa recicladora, produce cuatro mil toneladas métricas de resina de PET reciclada al año que, por medio de unos convenios estratégicos, se la vende a Arca Continental Ecuador, embotelladora de Coca-Cola en el Ecuador que produce 4,1 millones de toneladas de residuos sólidos al año. De esta cantidad el 25 % es potencialmente reciclable, pero las personas dedicadas al reciclaje solo recuperan el 7 % [38].

1.12 Impacto ambiental

Los envases plásticos PET tienen una alta relación resistencia/densidad, estas son propiedades del plástico PET que se utilizan para el aislamiento eléctrico, térmico con excelente resistencia los solventes e intemperie. Estos a su vez se divide en dos grandes grupos: los plásticos termoestables y los termoplásticos [39].

Según Derriak [40], explica que se ha incrementado considerablemente la producción de diferentes plásticos en los últimos 45 años, También manifiesta que en los años 2002-2013 aumentó el porcentaje en un 50 % es decir que el incremento fue de 205 millones de toneladas en 2002 mientras que en año 2013 fue de 289 millones de toneladas. Para el año 2020 se estima que la cifra aumente o supere los 500 millones de toneladas al año, esto se traduce en un incremento del 900 % comparado con los niveles de 1980 que se tienen registrados [41].

La reducción del consumo de plástico es responsabilidad de cada persona, fabricas, así como los que gestionan los residuos [41]. En varios países del mundo han tomado conciencia sobre este problema, están tomando medidas para mitigar este problema global. Por ejemplo, varios países del mundo ya tienen un sistema implementado de retorno de envases de plástico PET, que ha demostrado la recuperación de casi el 100 % de dichos envases [41].

La contaminación por el uso de los plásticos en especial el PET es un problema mundial, por lo cual Ecuador debe implementar un sistema para la reutilización de envases PET con el fin combatir este problema.

1.13 Preforma PET

Una preforma PET (cuerpo hueco PET) es la "forma primitiva", producida en el proceso de moldeo por inyección, de la botella PET. La fabricación de una preforma PET comprende varias etapas.

Al principio se calienta la preforma, posteriormente se la coloca en una herramienta

de formación de tres piezas, allí una espiga estira la preforma, de modo que obtiene la longitud final de la botella para luego mediante aire a presión dar la forma final al tubo flexible, que se formó antes, a continuación, se la refresca (condicionado), la herramienta de formación se abre obteniendo la forma moldeada [42].



Figura 12. Preforma para garrafón de 20 litros.

En el mercado ecuatoriano los envases de PET son uno de los productos de consumo masivo que más se distribuyen, Palma [42], muestra información de la importación de preformas PET, el cual se muestra en la Tabla 3, que compara datos del año 2008 al 2011.

Tabla 3. Informaciones arancelarias referidas al PET [42].

Ítem	Códigos sub partidas	Descripción
Resinas	3 908 609 000	plásticos
Residuos	3 916 900 000	plásticos
Preformas	3 924 302 000	preformas

En la Tabla 4 se muestra las partidas arancelarias las cuales sirven para la base estadística y una posterior identificación de la situación actual de envases plásticos en el mercado también se indica los componentes que se utilizaron de acuerdo a los ítems de la Tabla 3.

Tabla 4. Importación de preformas PET desde el año 2008 al 2012 [42].

Códigos Sub partida	Año	Toneladas
3923302000	2008	2 666,26
	2009	1 691,57
	2010	1 559,52

Tabla 4. Importación de preformas PET desde el año 2008 al 2012 [42].

(Continuación).

Códigos Sub partida	Año	Toneladas
	2011	1 948,14
	2012	3 078,14
	TOTAL:	10 943,53

La Tabla 4, Indica la importación de Preformas de PET que se han utilizado por la industria hasta el año 2012, según la información que proporciona en las Estadísticas del Banco Central del Ecuador (BCE).

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la cantidad de plástico que son desechadas en el océano anualmente es de unos 13 millones de toneladas, llegando a la conclusión que si no se toman medidas para reutilizar los desechos plásticos para el año 2050 existirán aproximadamente unos 12.000 millones de toneladas de desechos plásticos en el océano ocasionando así la destrucción del medio ambiente [43].

El 22 de mayo de 2018 en el Ecuador se pone en marcha una resolución de carácter obligatorio que restringe el uso de plásticos en las Islas Galápagos, ya que en este lugar es el hábitat de una variedad de vida silvestre única en todo el mundo [43]. En este año, se ha recolectado unas 22 toneladas de basura plástica en las islas Santa Cruz, San Cristóbal, Floreana y Santiago, según el Consejo de Gobierno, que administra la región insular de Galápagos [43].

1.14 Ciclo de vida del PET

Los plásticos son baratos, ligeros en peso, materiales duraderos que se pueden moldear convenientemente en una variedad de productos que se emplean en varias aplicaciones. Por este motivo, el desarrollo de materiales plásticos se ha incrementado sustancialmente en los últimos años [44]. Las cantidades actualizadas de su consumo, así como eliminación generaron una serie de problemas ambientales. Al menos el 4 % de la generación global de carbón, así como de petróleo, un material

no renovable, que se emplea en forma de materia prima para materiales plásticos, un 3 % adicional del 4 %, se utiliza para proporcionar energía en su fabricación [45].

Se emplea una sección crítica de materiales plásticos elaborados cada año que podría aplicarse en el papel de las piezas, componentes del embalaje u otras cosas menores que se tiran dentro de cada año de fabricación [45]. Además, debido a la durabilidad de los polímeros involucrados, se están acumulando niveles considerables de plásticos desechados al final de su vida útil en forma de residuos en vertederos y en hábitats naturales de todo el mundo [46].

La reutilización es la principal guía, ahora mismo, que está disponible para reducir este tipo de influencias, ofrece posiblemente una de las áreas más dinámicas cuando se observa a la industria del plástico en la actualidad [46]. Por ejemplo, la reutilización ofrece oportunidades para minimizar el uso de aceite, el estiramiento de la piel y las emisiones, además de los grados de desperdicio que exigen [47].

A través de un diseño cuidadoso, es posible extender la vida útil del PET y reducir la cantidad de PET virgen nuevo. La Figura 13 define la vida de PET, first life es la botella de PET original producida para el consumo. Cuando se descarta, se usa como material de relleno en adobe o paredes de concreto, todavía están en su fase de primera vida [47].

Las botellas de PET recolectadas que son recicladas mecánicamente en preformas para su próximo uso cuando las botellas ingresan a second life [46]. Nuevamente funcionan principalmente como contenedores de bienes de consumo. Después de su uso inicial, se pueden aplicar a diferentes funciones, por ejemplo, como material de apilamiento en construcción, esta es su tercera vida. Finalmente, después del reciclaje químico, pueden volver a la producción principal de PET como PET reciclado (rPET) compuesto en botellas nuevas [48].

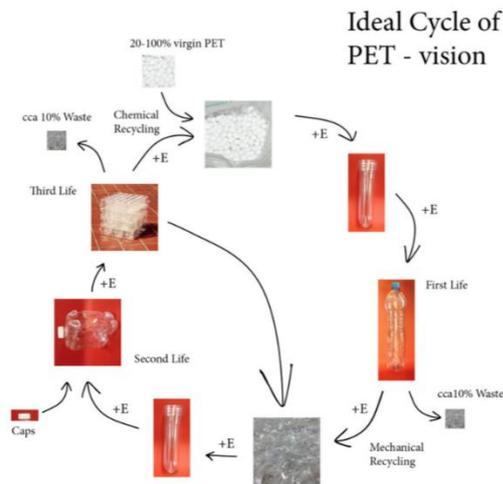


Figura 13. Ciclo ideal del PET [48].

1.15 Mecanismos de transferencia de calor

El frío o calor que una persona puede percibir o sentir al tocar un elemento cualquiera que este sea, se denomina temperatura. Por otro lado, cuando existe una cesión de energía entre dos o más cuerpos, se denomina calor, este se produce debido a las diferencias de temperaturas entre los cuerpos [49]. El calor es una energía en movimiento, en zonas de mayor temperatura existe pérdida de calor, pues este fluye hacia zonas con menor temperatura buscando un equilibrio térmico, esto en cuerpos en donde su volumen no varíe o permanezca constante [49].

En el momento en que dos cuerpos con distintas temperaturas se ponen en contacto entre sí, se produce una transferencia de calor desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. La transferencia de calor se puede realizar por tres mecanismos físicos: conducción, convección y radiación [49].

1.15.1 Transferencia de calor por Conducción

Se tiene cuando las partículas con una mayor carga de energía ceden parte de esta a otras partículas, por un contacto directo entre estas transfiriendo calor a través de todo el cuerpo [50]. Así se tiene que los metales poseen excelentes propiedades para la conducción térmica, mientras que los plásticos por el contrario son los peores conductores [49].

Tabla 5. Conductividad térmica de diferentes materiales [51].

Material	Conductividad térmica (W/m·K)
Plata	406 - 418
Cobre tipo M	372 - 385
Aluminio	220 - 244
Bronce	116 - 186
Zinc	106 - 140
PET	0,29 - 0,40
PVC	0,12 - 0,25

La Tabla 5 provee información importante debido a que se necesita un material con buenas propiedades en conducción térmica en relación a la superficie de captación de los colectores solares con la finalidad de obtener una buena eficiencia de estos sistemas. Se utilizan materiales de baja conducción en la caja de aislamiento térmico para evitar pérdidas de calor al ambiente exterior [49].

1.15.2 Transferencia de calor por convección

Cengel y Ghajar [50] mencionan que la convección es un mecanismo de transferencia de calor que se da por medio de un fluido, esto mientras este fluido se encuentra en movimiento. Jiji [52], argumenta que la transferencia de calor por convección se ocupa de la interacción térmica entre un área superficial con un fluido en movimiento adyacente. Los ejemplos incluyen el flujo de fluido sobre un cilindro, dentro de un tubo y entre placas paralelas. La convección también incluye el estudio de la interacción térmica entre fluidos, un ejemplo es un chorro que emite en un medio del mismo o un fluido diferente [52]. Por lo tanto, la convección se clasifica como interna y externa, esto depende de si se obliga al fluido a fluir por sobre una superficie o por medio de un tubo [50].

1.15.5 Convección Interna Forzada

Este tipo de convección se tiene cuando se obliga a un fluido a pasar por un tubo o conducto, este conducto debe tener una suficiente longitud capaz que se pueda realizar la transferencia de calor hacia el fluido [53].

1.15.6 Convección Natural

Este tipo de convección natural de forma externa, surge cuando el movimiento del fluido es causado por los efectos de flotabilidad, debido a las diferencias de densidad ocasionadas por las variaciones de temperatura en el fluido [53]. A diferencia de la convección forzada la convección natural es difícil de apreciar su movimiento debido a las bajas velocidades presentes en el fluido [50]. En la Tabla 6, se muestra valores de factores de transferencia de calor por convección natural, así también para convección forzada, correspondientes a diferentes fluidos que comúnmente se utilizan en la industria.

Tabla 6. Valores de coeficiente de transferencia de calor por convección (h) [53].

Condición	sh (W/m ² ·K)
Convección natural, aire	6 - 35
Convección forzada, aire	28 - 851
Convección natural, agua	170 - 1140
Convección forzada, agua	570 - 22700
Agua hervida	5700 - 85000
Vapor condensado	57000 - 170000
Convección forzada, sodio	113000 - 227000

1.15.7 Transferencia de calor por radiación

La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. En superficies sólidas esta radiación puede provenir de líquidos o gases. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos [50].

En la transferencia de energía por conducción y convección, obligadamente necesitan la presencia de un medio material para que cualquiera de estas dos formas pueda existir. Mientras que, la transferencia por radiación no lo necesita, es decir que esta ocurre de manera más eficiente en el vacío [50].

1.15.8 Emisividad

Una superficie que emite radiación, toma el nombre de potencia emisiva superficial se tiene a partir de energía térmica de la materia definida por el área superficial y la velocidad a la que esta energía es liberada por unidad de área (W/m^2) [50]. La emisividad total se obtiene por integración sobre todo el espectro electromagnético y todo el espacio. Cuanto más pequeño sea el valor de la emisividad, mejor aislante por reflexión será dicha superficie, siendo 1 el valor máximo [50].

1.15.9 Absortancia

Se denomina al incremento de energía térmica de un material como consecuencia de la absorción de una pequeña parte, o en su totalidad de la irradiación solar por la superficie expuesta del material [50].

1.16 Sistema de calentamiento de agua

Un calentador solar es un tipo especial de intercambiador de calor, cuya función principal es recolectar energía en forma de calor, para Bhowmik y Amin [54], los recolectores recogen la energía del sol, transforman esta radiación en calor y luego transfieren este calor a un fluido, agua o aire, que tiene muchas aplicaciones domésticas o industriales, como el calentamiento de aguas sanitarias para el aseo de personas o limpieza en general, así también en calefacción y refrigeración, Prasad et al. [55], clasificó los colectores solares en dos tipos: tipo hidrónico en donde el agua es usada como fluido de transferencia de calor, de tipo aire en donde este es usado como fluido de transferencia de calor. Se observó que el de tipo aire tiene bajo factor de razón de calor, así también baja eficiencia térmica, entonces se recomienda emplear un colector de tipo agua para obtener un alto, eficiente rendimiento térmico [55].

En el diseño de estos sistemas, Martínez et al. [56], mencionan que se requiere el cumplimiento de los objetivos térmicos e hidráulicos, el objetivo térmico se refiere a la consecución del servicio térmico y la temperatura requeridos, mientras que el objetivo hidráulico se refiere al cumplimiento de la tasa de flujo másico requerido, que logrará la carga de calor especificada dentro de las limitaciones de la caída de presión, Sabiha et al. [57], aclaran que el colector solar de tubo de vacío es una tecnología que ofrece una eficiencia térmica mucho mayor en comparación con los colectores de placa plana, Ramos et al. [58], muestran datos comparativos en donde los colectores de placa plana alcanzan temperaturas de entre 30 °C y 80 °C, mientras que los colectores de tipo tubos de vacío alcanzan temperaturas de entre 50 °C y 200 °C, dando una mejor perspectiva del tipo de colector que se puede usar en un proyecto.

El colector solar con tubería de policloruro de vinilo (PVC) que va por entre los recipientes de politereftalato de etileno (PET), que interconecta a estos recipientes, es un dispositivo con la capacidad de recolectar la radiación emitida por el sol para transmitir esta energía en forma de calor al líquido que circula por el dispositivo [58].

Awaja y Pavel [59] mencionan que el PET es considerado como uno de los más importantes polímeros de ingeniería en las últimas dos décadas. debido a su uso en muchas aplicaciones. Es considerado como un excelente material para muchas aplicaciones, es especialmente utilizado en la fabricación de contenedores de líquidos [58].

1.17 Análisis de alternativas

Se presenta la valoración de alternativas para la construcción del calentador de agua con botellas PET con capacidad de 65 litros.

1.17.1 Identificación de necesidades

Para satisfacer las necesidades se considera los siguientes factores:

- **Rendimiento.** Para un óptimo rendimiento los parámetros principales serán: niveles de radiación necesarios, tipo de material, tiempo para el calentamiento de agua, aislamiento de tuberías.
- **Producción.** Al ser construido para la implementación en hogares cuyo calentamiento de agua para consumo será directamente proporcional al área del calentador solar.
- **Mantenimiento.** Ya que el calentador de agua será de uso común en el hogar, se debe estimar costos de mantenimiento para evitar contratiempos que afecten a los equipos.
- **Costo de producción.** Al construir el calentador se deberá considerar los costos de los ensayos así también con los costos de instalación.

Estos factores son de vital importancia para establecer el diseño definitivo para el calentador de agua y obtener así obtener mayor eficiencia en dicho proceso.

1.17.2 Alternativas de solución

Debido a la larga vida útil del plástico, esto representa una carga considerable para el medio ambiente. Los plásticos biodegradables aún no están lo suficientemente desarrollados como para proporcionar una solución a este problema [60], no se sabe mucho sobre su impacto en el ciclo de vida [61].

En la actualidad existen varios tipos de calentadores solares, conforme avance la tecnología se observará más tipos de calentadores solares, existen 3 tipos básicos de los que se dispone tal como lo indica en la Tabla 7. Cabe mencionar que los diferentes tipos de calentadores solares tienen el mismo objetivo, calentar agua con energía solar.

Tabla 7. Análisis de alternativas.

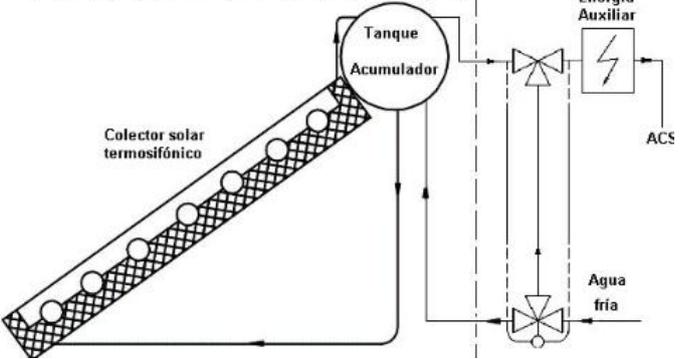
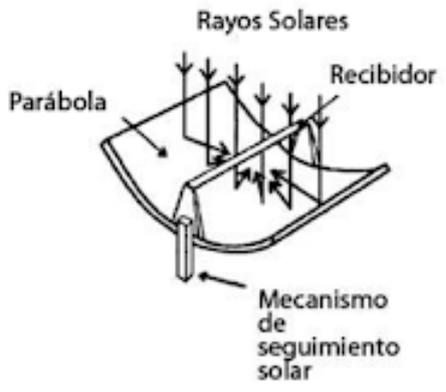
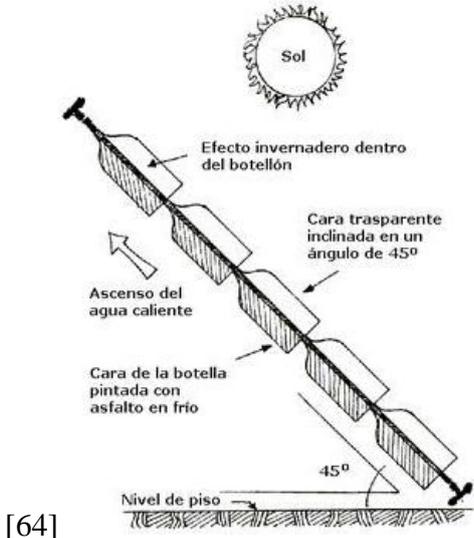
Alternativas de solución	Características fundamentales	Esquema básico
Calentador solar plano	Tienen una cubierta de vidrio con una placa captadora totalmente aislada térmicamente en el interior. Existen de plástico para calentar agua de piscinas. Alcanzan temperaturas entre 30 y 70 °C.	 <p>[62]</p>
Calentadores solares de tubos al vacío	A diferencia de los colectores planos son un poco más eficientes ya que gracias a la forma de los tubos absorben el calor del sol desde muchas direcciones. Alcanzan temperaturas entre los 50 y los 190 °C.	 <p>[62]</p>
Calentadores solares de concentración	Son cóncavos y el objetivo es proyectar la concentración de la energía solar hacia un punto determinado. Son muy eficientes, pero sólo con luz solar directa. Alcanzan temperaturas de hasta 4000 °C.	 <p>[63]</p>

Tabla 7. Análisis de alternativas. (Continuación)

Alternativas de solución	Características fundamentales	Esquema básico
Calentador solar con botellas PET	Similares al calentador solar plano. Alcanzan temperaturas entre 30 °C y 60 °C.	

1.17.3 Elección de la alternativa

Se empleará un método cuantitativo para seleccionar la mejor alternativa, este se basa en la valoración numérica de Likert para proyectos técnicos [62], una escala numérica que permite valorar los aspectos de cada calentador según los siguientes parámetros.

Tamaño del prototipo. Con este parámetro se pretende aprovechar al máximo el espacio en el cual va a operar la alternativa seleccionada siendo: pequeño; colectores con un área menor a 2 m², mediano; colectores con un área entre los valores de 2 m² - 3 m², por último, grande; a colectores con un área superior a 3 m².)

Facilidad de operación. Este tipo de colectores son comúnmente utilizados por personas con poco o ningún conocimiento sobre el funcionamiento de los mismos, por lo que se considera: fácil; si el colector no cuenta con sistemas de programación (PLC) u otros, medio; si el colector cuenta con una programación (PLC) básica para su funcionamiento, difícil; si el colector necesita de una programación (PLC) avanzada además de personal calificado para su funcionamiento.

Facilidad de mantenimiento. El correcto funcionamiento de un colector depende del mantenimiento que este debe tener en la corrección de problemas como fugas, obstrucciones en tuberías, entre otros, por lo que se considera: fácil; si el colector no necesita un desmontaje elementos que lo integran para una reparación, por lo que su mantenimiento es únicamente por limpieza, medio; si el colector necesita el desmontaje se ciertos elementos para una posterior limpieza, Difícil; si el colector necesita el desmontaje de sus elementos adicional una reprogramación de su sistema de control lógico.

Construcción. Los colectores pueden ser implementados en todos los hogares sin excepción para su posterior uso, por lo que se considera: fácil; si el colector puede ser construido con materiales de fácil adquisición que no necesite de mano calificada ni de procesos especiales como soldaduras o tratamientos en materiales, medio; si el colector necesita de un proceso especial para la unión de la tubería con la instalación aislamientos térmicos para su correcto funcionamiento, difícil; si el colector necesita de procesos especiales en la unión de sus elementos, además si este necesita de mano de obra calificada para la instalación y programación de sistemas lógicos de control.

Costo de fabricación. La implementación de un colector en un hogar puede darse o no según el impacto económico que este puede tener, por lo que se considera; bajo; si la construcción del equipo es menor a 500 USD, medio; si la construcción del equipo se encuentra en el intervalo de 500 USD a 1000 USD, alto; si la construcción del equipo es mayor a 1000 USD.

Tabla 8. Escala de valoración de alternativas

Parámetro	Tipo	Valoración numérica
Tamaño del prototipo	Pequeño	3
	Mediano	2
	Grande	1
Facilidad de operación	Fácil	3
	Medio	2
	Difícil	1
Facilidad de mantenimiento	Fácil	3
	Medio	2
	Difícil	1
Construcción	Fácil	3
	Medio	2
	Difícil	1
Costo de fabricación	Bajo	3
	Medio	2
	Alto	1

Tabla 9. Análisis cuantitativo de las alternativas

Parámetro	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Tamaño del prototipo	2	2	3	1
Facilidad de operación	3	3	3	3
Facilidad de mantenimiento	1	2	3	2
Construcción	1	2	1	3
Costo de fabricación	3	2	2	2
Total	10/15	11/15	10/15	13/15
Índice porcentual	66 %	72 %	66 %	86 %

Los argumentos de las necesidades presentadas se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Argumentos de cada necesidad

Necesidades	Argumento
Tamaño del prototipo	Debido a la cantidad de agua a calentar, el tamaño resulta relativamente pequeño lo cual facilita su transporte e instalación.
Facilidad de operación	Funcionamiento sencillo del calentador.
Facilidad de mantenimiento	El mantenimiento del calentador resulta muy económico por los materiales de fácil adquisición.
Ecológico	Emplea materiales reciclados de fácil adquisición, así como de gran resistencia a la intemperie.
Economía	Los costos de fabricación e instalación varían de acuerdo al tamaño y tipo de materiales.

Una vez analizados los resultados cuantitativos de las diferentes alternativas presentadas para los calentadores solares, el modelo a elegir para la construcción del sistema de calentamiento de agua con botellas PET, se considera esta la alternativa con mayor puntuación tal como se muestra en la Tabla 9.

La viabilidad del presente proyecto se basa en reutilizar los envases de politereftalato de etileno, los cuales contaminan el medio ambiente de manera significativa, además los artículos científicos consultados demuestran que el politereftalato de etileno tiene diferentes propiedades mecánicas, químicas que el mismo plástico virgen [65]. Esto significa que el plástico reciclado no interactúa con el plástico virgen del mismo tipo. Debido a esto, las bajas cantidades de mezcla de plástico reciclado (hasta el 5 % del plástico reciclado) se investigan normalmente [65], por esta razón se observa el gran crecimiento de desechos que contaminan el medio ambiente.

Con el diseño de este proyecto cabe recalcar que permite obtener un mayor conocimiento del funcionamiento del calentador de agua, así como la radiación, efecto invernadero entre otros. También permite conocer los cambios que ocurren por la contaminación del medio ambiente con las botellas PET [66].

Mediante esta investigación la aplicación más dominante de PET según Islam et al. [66], son los siguientes: reciclado en arquitectura, es la mezcla de filamentos de PET reciclado en concreto, seguida de la aplicación en asfalto. Mientras que para Gürü et al. [67], otras aplicaciones son partículas de PET convertidas en espumas de poliuretano, aislamiento térmico, así como también en paneles. En todos estos casos, el material PET reciclado que se agrega es en un estado fragmentado.

Como se puede ver en la descripción general anterior, casi no hay aplicaciones de rPET en productos que puedan usarse como tales. Sin embargo, las botellas de PET se utilizan bastante como material de relleno en paredes de concreto y adobe, que ya se implementan en países como; Filipinas, San Salvador, Nigeria, Honduras, Guatemala, entre otros [68]. La revisión del PET indica la principal motivación para elaborar un calentador de agua con rPET [68]. La aplicación de compuestos mecánicos, arquitectónicos en productos de construcción que utilizan PET reciclado tiene un gran potencial debido a las siguientes razones:

- Estos productos no son bienes de consumo; por lo tanto, pueden estar hechos de material PET reciclado de grado inferior.
- Al aumentar la cantidad de productos en arquitectura que se basan en PET reciclado, se puede reducir la demanda para la producción de productos arquitectónicos basados en nuevos materiales.
- Al aplicar PET reciclado para la producción de diferentes productos, se amplía el mercado del PET reciclado.
- Una botella con forma específica puede realizar el efecto invernadero para el calentamiento de agua en las botellas de PET.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Mediante el análisis y planteamiento de ecuaciones que rigen al sistema de calentamiento de agua activo, mediante el uso de politereftalato de etileno interconectado con tubería de policloruro de vinilo además de cobre tipo M, se podrá obtener una idea clara y concisa del funcionamiento de este sistema para facilitar la construcción del mismo, cabe resaltar que las condiciones de trabajo para esta presente investigación se rige en la recirculación del agua que se encuentra en el tanque sin que exista consumo de la misma, también se plantean ecuaciones que rigen el funcionamiento del calentador solar de agua, abordando temas relacionados a la razón de transferencia de calor en sus diferentes medios como la convección, conducción y radiación solar térmica, que permitirán obtener los parámetros necesarios para el diseño.

2.1 Flujo de calor ganado por el agua

López et al. [69], Yassen et al. [70]. mencionan que se establece la proporción de flujo de calor al agua mediante la ecuación (1)

$$\dot{Q}_{agua} = \dot{m} \cdot C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (1)$$

Donde:

\dot{Q}_{agua} = Flujo de calor al agua [W]

\dot{m} = Flujo de la masa de agua en el calentador [kg/s]

C_p = Calor específico del agua [4,18 kJ/kg·°C]

T_{fo} = Temperatura del agua a la salida del calentador [°C]

T_{fi} = Temperatura del agua a la entrada del calentador [°C].

Cengel y Ghajar [50] muestran cómo determinar el principio de conservación de la masa mediante la ecuación (2), cuya función es la de mostrar el flujo masico por unidad de tiempo dentro de un dispositivo [71].

$$\dot{m} = \rho \cdot V_{prom} \cdot A_c \quad (2)$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico [kg/s].

ρ = Densidad del fluido [kg/m³].

V_{prom} = Velocidad promedio [m/s].

A_c = Área de la sección transversal [m²].

2.2 Transferencia de calor en régimen estacionario

Dentro de la transferencia de calor se menciona la razón de esa transferencia a través de un medio, esto en condiciones y temperaturas superficiales estacionarias.

2.2.1 Resistencias térmicas

La oposición a la transferencia de calor que presentan los materiales y el medio a la que esta tiene que atravesar, se representa como resistencia térmica, en la Figura 14 se presenta una analogía de resistencias térmicas ya que el sistema de calentamiento de agua activo está formado por diferentes capas, las cuales pueden ser de convección o conducción.

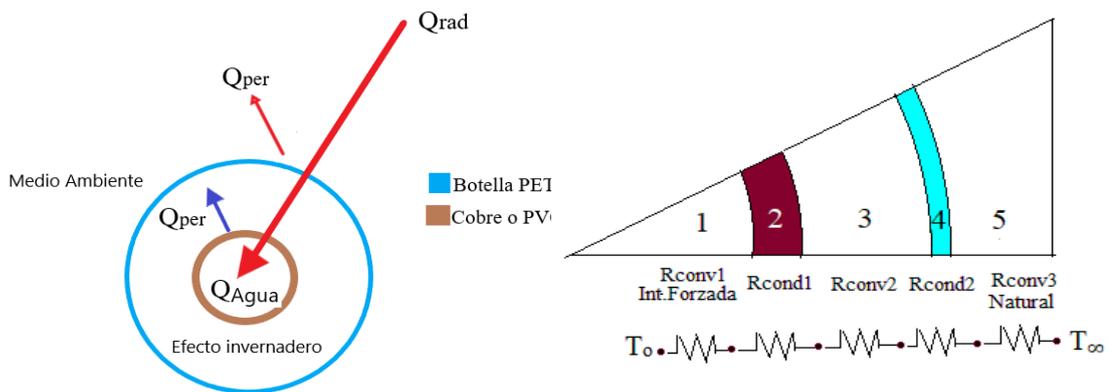


Figura 14. Analogía de resistencias térmicas para el sistema de calentamiento de agua activo mediante el uso de politereftalato de etileno interconectado con tubería de policloruro de vinilo y cobre tipo M.

Así se tiene que:

- 1.- Fluido de trabajo dentro de la manguera, resistencia térmica por convección forzada.
- 2.- Material de la manguera, resistencia térmica por conducción de calor.

3.- Espacio de ambiente efecto invernadero, resistencia térmica por convección.

4.- Material PET, resistencia térmica por conducción de calor.

5.- Espacio medio ambiente, resistencia térmica por convección natural.

Calle y Tinoco [72] argumentan la relación de las resistencias térmicas con la razón de transferencia de calor total mediante la ecuación (3), que cuantifica la transferencia de energía térmica ya sea esta por adición o rechazo de calor [50].

$$\dot{Q}_{perdido} = \frac{T_{\infty} - T_{ic}}{R_{total}} \quad (3)$$

$$R_{total} = R_{conv1}^{Int. forzada} + R_{cond1} + R_{conv2} + R_{cond2} + R_{conv3}^{Natural} \quad (4)$$

Donde:

T_{∞} = Temperatura de los alrededores [°C].

T_{ic} = Temperatura del interior de la manguera (cilindro) [°C].

R_{total} = Resistencia térmica total [°C/W].

2.2.2 Resistencia térmica por conducción de calor

Hun et al. [73], argumenta que la resistencia térmica es la oposición al flujo de calor que posee un material. Chen et al. [74], muestran la forma de calcular la resistencia térmica de transferencia de calor por conducción para un cilindro con la ecuación (5). Es decir, cuantifica la oposición al flujo de calor que fluye a través de un material [50].

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi Lk} \quad (5)$$

Donde:

R_{cil} = Resistencia térmica de un cilindro [°C/W].

r_2 = Radio exterior [m].

r_1 = Radio interior [m].

L = Longitud del cilindro [m].

k = Coeficiente de conducción [W/m·°C].

2.2.3 Resistencia térmica por convección

La razón de transferencia de calor por convección se da en superficies expuestas a ebullición y condensación, Bai Y. y Bai Q. [76] exponen la forma de obtener la resistencia térmica por convección mediante la ecuación (6), cuya función es la de cuantificar la oposición a la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido que cuyo movimiento se da por sobre o adyacente a la superficie sólida [75].

$$R_{conv} = \frac{1}{hA_s} \quad (6)$$

Donde:

R_{conv} = Resistencia térmica por convección [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$].

h = Coeficiente de convección [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$].

A_s = Área superficial, para un cilindro $A_s = 2\pi rL$, [m^2].

2.3 Radiación térmica

Todos los cuerpos, emiten energía radiante en forma de ondas electromagnéticas cuando están a una temperatura por encima del cero absoluto, punto hipotético en el que una sustancia no tendría movimiento molecular, así como también calor. La fuente de esta radiación térmica o la radiación de temperatura es el movimiento molecular incesante como resultado de interacciones entre moléculas, parte de su energía se transforma en radiación. Por el contrario, la radiación puede ser absorbida por las moléculas y convertida en energía cinética y potencial, aumentando la temperatura de un cuerpo [77].

2.3.1 Energía solar que incide sobre una superficie

Kirkham [77], muestra cómo se obtiene la energía solar sobre una superficie con la ecuación (7), cuyo fin es cuantificar la energía solar total que cae sobre el área de una superficie horizontal [50].

$$G_{solar} = G_D \cos \theta + G_d \quad (7)$$

Donde:

G_D = Radiación solar directa [W/m^2].

G_d = Radiación solar difusa [W/m^2].

Kirkham [77], mediante la ecuación (8), cuantifica la emanación de radiación de la atmósfera contra la superficie de la tierra [75].

$$G_{cielo} = \sigma T_{cielo}^4 \quad (8)$$

Donde:

σ = Constante de Stefan-Boltzmann [$W/m^2 \cdot K^4$].

T_{cielo} = Temperatura del cielo, depende de las condiciones atmosféricas [K].

2.3.2 Flujo de calor ganado por radiación

Domairry et al. [78], indican que la razón de calor ganado mediante radiación solar es obtenido mediante la ecuación (9),

$$Q_{rad} = \varepsilon_o \sigma A_s (T_c^4 - T_{cielo}^4) \quad (9)$$

Donde:

ε_o = Emisividad de la cubierta del material.

σ = Constante de Stefan-Boltzmann [$W/m^2 \cdot K^4$].

A_s = Área superficial [m^2].

T_c = Temperatura de la cubierta [R].

T_{cielo} = Temperatura del cielo, depende de las condiciones atmosféricas [R].

Gao et al. [79], presentan la ecuación (10), con la cual se obtiene el coeficiente de transferencia de calor por radiación térmica entre dos tubos concéntricos, un tubo receptor h_r , otro tubo cubierta h_{r-c} .

$$h_{r, r-c} = \frac{\sigma (T_r^2 + T_c^2) \times (T_r + T_c)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{1-\varepsilon_2 \times A_c}{\varepsilon_2 \times A_c}} \quad (10)$$

Donde:

ε_1 = Emisividad del tubo receptor.

ε_2 = Emisividad del tubo de cubierta.

F_{12} = Factor de visión.

T_c = Temperatura de la cubierta [K].

T_r = Temperatura del receptor [K].

2.4 Conducción de calor en régimen transitorio

2.4.1 Número de Biot

En general, la temperatura en un cuerpo puede variar con el tiempo, así como también con la posición, Srinivasacharya y Hima Bindu [80] muestran el número de Biot para un cilindro infinitamente largo con la ecuación (11), cuya función es la de demostrar la razón de la oposición interna de un cuerpo a la conducción de calor con respecto a su oposición externa a la convección de calor, es decir representa una resistencia a la conducción de calor [50] .

$$Bi = \frac{hr_o}{k} \quad (11)$$

Donde:

Bi = Número de Biot.

h = Coeficiente de convección [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$].

r_o = Radio del cilindro [m].

k = Coeficiente de conducción [$\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$].

2.4.2 Número de Fourier

Gram y Adler [81], en la ecuación (12) presentan este número adimensional que cuya función es caracterizar la conducción de calor, relacionando velocidad de conducción de calor con la velocidad de almacenamiento de energía, de forma adimensional [82].

$$Fo = \tau = \frac{\alpha t}{L^2} \quad (12)$$

Donde:

$Fo = \tau$ = Número de Fourier.

α = Difusividad térmica [m^2/s].

t = Tiempo [s].

L = Longitud a través de la que se da la conducción de calor [m].

2.4.3 Temperatura adimensional

Cengel y Ghajar [50] muestran la determinación de esta temperatura para una geometría cilíndrica mediante la ecuación (13), cuya función es obtener una temperatura adimensional en un punto medio, como función del número de Fourier con el inverso del número de Biot representado como un parámetro constante, dentro de las denominadas gráficas de Heisler [82].

$$\theta_{cil} = \frac{T(r, t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau} J_0(\lambda_1 r / r_0), \quad \tau > 0.2 \quad (13)$$

Donde:

A_1 = Dato de tabla en función del número de Biot.

λ_1 = Dato de tabla en función del número de Biot.

J_0 = Dato de tabla en función del número de Bessel.

T_{∞} = Temperatura de los alrededores [°C].

T_i = Temperatura inicial del fluido [°C].

$T(r, t)$ = Temperatura en función de la posición y el tiempo [°C].

2.5 Convección interna forzada

En un tubo cambia la velocidad del fluido, con una velocidad nula en la superficie interna del tubo, esto por la condición de no deslizamiento, hasta una velocidad máxima en el centro de este. En el flujo de un fluido no compresible, resulta oportuno trabajar con una velocidad promedio mediante la ecuación (2), debido a que esta velocidad no es variable, siempre que en el tubo permanezca constante el área de la sección transversal [50].

2.5.1 Flujos laminar y turbulento

Al fluir un fluido sigue las líneas de corriente, entonces se dice que, es laminar cuando se presentan velocidades bajas, o turbulento como consecuencia de un incremento de velocidad por encima de un valor establecido denominado crítico. La mayor parte de flujos por tubos en la práctica se encuentran en estado turbulento,

mientras que en flujo laminar se encuentran fluidos con altas viscosidades [50]. Behshad y Mohsen [83], así como Cengel y Ghajar [50], muestran la ecuación de Reynolds (14) con la cual se determina si un fluido en movimiento es laminar o turbulento, para un tubo circular se tiene que, el flujo es laminar para valores de $Re < 2300$ y turbulento para valores de $Re > 10000$ [50].

$$Re = \frac{V_{prom} D}{\nu} = \frac{4 \dot{m}}{\mu \pi D} \quad (14)$$

Donde:

Re = Número de Reynolds.

V_{prom} = Velocidad promedio [m/s].

D = Diámetro del tubo [m].

ν = Viscosidad cinemática del fluido [$\times 10^{-6}$ m²/s].

\dot{m} = Flujo másico [kg/s].

μ = Viscosidad dinámica del fluido [$\times 10^{-3}$ N·s/m²].

2.5.2 Nusselt, flujo laminar

Miin et al. [84], indican que el valor de Nusselt en tubos circulares se obtiene mediante la ecuación (15), su fin es representar una mejora de la transferencia de calor mediante una capa de fluido producto de la convección, con relación a la conducción por medio de la misma capa [50].

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (15)$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt.

h = Coeficiente de convección [W/m²·°C].

k = Coeficiente de conducción [W/m·°C].

D = Diámetro del tubo [m].

2.5.3 Número de Prandtl

Kreith et al. [82] mencionan que el número de Prandtl representa a una función sólo de las propiedades del fluido, cuya función se ha descrito en representar un nexo de

la viscosidad cinemática del fluido referente a la difusividad térmica del fluido, obteniéndose mediante la ecuación (16).

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (16)$$

Donde:

ν = Viscosidad cinemática [m^2/s].

α = Difusividad térmica [m^2/s]

2.5.4 Nusselt, flujo turbulento

Cengel y Ghajar [50] mencionan que es aplicable la ecuación (17), denominada ecuación de Colburn, para determinar Nusselt dentro de tubos circulares con flujo turbulento, para $n = 0,4$ si existe calentamiento y $0,3$ si existe enfriamiento del fluido de trabajo.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (17)$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt.

Re = Número de Reynolds.

Pr = Número de Prandtl.

2.5.5 Factor de fricción

Cengel y Ghajar [50] muestran cómo obtener el factor de fricción para tubos lisos en la ecuación (18), con condición para Reynolds, $3000 < Re < 5 \times 10^6$.

$$f = [0.790 \ln(Re) - 1.64]^{-2} \quad (18)$$

Donde:

f = Factor de fricción para tubos lisos.

Re = Número de Reynolds.

2.5.6 Caída de presión

Se encuentra en relación directa con los requerimientos de potencia de la bomba [50], Kreith et al. [82], plantean la ecuación (19) para obtener la caída de presión con el fin de mantener el flujo.

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{prom}^2}{2} \quad (19)$$

Donde:

f = factor de fricción [adimensional].

L = Longitud del tubo [m].

D = Diámetro del tubo [m].

V_{prom} = Velocidad promedio [m/s].

ρ = Densidad del fluido [kg/m³].

2.5.7 Pérdida de carga

Kreith et al. [82], mediante la ecuación (20) muestran cómo obtener este parámetro cuyo propósito es determinar la altura adicional a la que necesita elevarse el fluido mediante una bomba periférica con el fin de vencer las pérdidas ocasionadas por la fricción en las paredes del tubo [50].

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} \quad (20)$$

Donde

ΔP_L = Caída de presión [Pa].

ρ = Densidad del fluido [kg/m³].

g = Gravedad ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

2.6 Convección natural

2.6.1 Temperatura de la película

Cengel y Ghajar [50] indican que para mantener las propiedades del fluido que se está utilizando, estas deben ser evaluadas mediante la temperatura que se obtiene por la ecuación (21).

$$T_f = \frac{1}{2}(T_s + T_\infty) \quad (21)$$

Donde:

T_f = Temperatura de la película [°C].

T_s = Temperatura de la superficie del material [°C].

T_∞ = Temperatura de los alrededores [°C].

2.6.2 Número de Grashof

Cada vez que una superficie sólida sumergida en un fluido o líquido fluye sobre un objeto, se garantiza la convección inducida térmicamente ya que el fluido y la superficie tienen una temperatura diferente. Sobre esta base, se requiere un parámetro que cuantifique la relación de fuerzas de flotabilidad con las fuerzas viscosas.

En transferencia de calor un número adimensional, que se aproxima a la relación de la fuerza de flotación a una fuerza viscosa que actúa sobre un líquido se denomina número de Grashof, Ali et al. [85], muestran cómo obtener este número adimensional mediante la siguiente ecuación (22).

$$Gr_L = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} \quad (22)$$

Donde:

g = Valor de la gravedad [m/s^2].

β = Coeficiente de expansión volumétrica [$1/k$], ($\beta = 1/T_f$ para gases ideales).

T_s = Temperatura de la superficie [°C].

T_∞ = Temperatura de los alrededores [°C].

L_c = Longitud característica [m].

ν = Viscosidad cinemática [$\times 10^{-6} m^2/s$].

2.6.3 Número de Rayleigh

Hapenciuc et al. [86], muestran cómo obtener el número de Rayleigh con la ecuación (23), esta cuantifica la razón de las fuerzas de flotabilidad, siendo el producto de las difusividades térmicas con la cantidad de movimiento [50].

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu \alpha} \quad (23)$$

Donde:

Gr_L = Número de Grashof.

Pr = Número de Prandtl.

α = Difusividad térmica [m²/s].

2.6.4 Correlación empírica del Número de Nusselt para cilindro horizontal

Cengel y Ghajar [50] muestran cómo obtener este número con la ecuación (24), con una condición para $Ra \leq 10^{12}$.

$$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + (0.559 / Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (24)$$

Donde:

Ra = Número de Rayleigh.

Pr = Número de Prandtl.

Cengel y Ghajar [50] también mencionan que el número de Nusselt se puede obtener mediante la ecuación (25) en términos del número de Rayleigh, en donde la constante C toma valores menores a 1, mientras que la constante n toma valores de $\frac{1}{4}$ para flujo laminar y $\frac{1}{3}$ para flujo turbulento.

$$Nu = C Ra_L^n \quad (25)$$

Donde:

Ra = Número de Rayleigh

n = Constante por configuración geométrica.

C = Constante por configuración geométrica.

2.7 Eficiencia del sistema

Según Yassen et al. [70], mencionan que el numerador de la ecuación (26) representa la cantidad de calor útil producido durante el funcionamiento del calentador de agua, mientras que el denominador representa la cantidad de radiación solar incidente sobre el colector durante el tiempo correspondiente donde por lo tanto se obtiene la eficiencia de este colector solar.

$$\eta = \frac{Q_{ganado}}{Q_{incidente}} = \frac{Q_{agua} + Q_{radiación} - Q_{perdido}}{Q_{radiación}} \quad (26)$$

2.8 Características de la bomba periférica

Características de la bomba

- Armazón de bomba en hierro fundido, con tratamiento anti-corrosión.
- Impulsor fabricado en bronce.
- Inserto de latón para evitar la formación de óxido, asegurando el no bloqueo del impulsor.
- Eje en acero inoxidable ASI 304.
- Máxima temperatura del fluido de trabajo: +60 °C.
- Máxima succión: +6 m.

Información del Motor

- Motor con bobinado en cobre.
- Protección térmica.
- Aislamiento tipo F.
- Protección tipo: IPX4.
- Temperatura máxima de exposición ambiental: +40 °C.

Aplicaciones

- Bombeo de agua limpia libre de partículas abrasivas y fluidos químicamente no agresivos.
- Para uso doméstico e industrial en sistemas automáticos de riego

Tabla 11. Características técnicas de la bomba periférica [87].

CÓDIGO	MODELO	HP	TEN	BOCAS	Q(m ³ /h)	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,4
				ASP x DESC	Q(l/min)	0	5	10	15	20	25	30	40
B.AP.10005, M	APm37	0,5	MON	1" x 1"	40	35	30	25	20	15	10	5	2

2.9 Procedimiento para la obtención de los parámetros de diseño

Para determinar el valor de flujo de calor cedido, es necesario analizar el flujo de aire al interior de la botella. Para esto, se debe tomar la temperatura superficial de la botella PET, obtener los datos de densidad, conductividad, número de Prandlt y viscosidad a la presión de Quito (73 kPa) [88]. Posteriormente, se requiere calcular el

número de Grashof, Reynolds para determinar el tipo de flujo que se presenta. Se procede a calcular el número de Nusselt para obtener el coeficiente convectivo de transferencia de calor. De este modo, se puede aplicar la ley de enfriamiento de Newton para determinar el calor perdido por convección [88]. Para calcular el flujo de calor cedido por radiación, se aplica la ley de Stefan-Boltzmann. Las pérdidas de calor globales se obtienen al sumar estos dos flujos de calor. Los valores obtenidos se presentan en el Anexo 4.

A su vez para calcular la eficiencia del colector solar con botellas PET se debe tomar el calor del agua en el tanque, calor incidente en el área del colector solar y las pérdidas de calor que se tienen en este sistema como lo indica en la ecuación (26) y el Anexo 4 donde muestra los resultados obtenidos.

El calor incidente se obtiene mediante la estación climatológica tal como se muestra en la Figura 17.

Una vez presentada la información de las ecuaciones que sustentan la presente investigación, se realizan los cálculos para el diseño e implementación de los colectores solares con botellas PET. A continuación, en el capítulo 3 se muestran los resultados así también el análisis de los cuatro colectores.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COSTOS

En este capítulo, se presentan las diferentes pruebas realizadas junto con los resultados obtenidos de los colectores solares, estos se encuentran ubicados en la ciudad de Quito, parroquia el Batán, barrio Monteserrín. Para validar el correcto funcionamiento de los equipos se trabaja bajo estas condiciones de funcionamiento: recirculación de 60 litros de agua en el colector, no existe un consumo de agua del tanque ya que de esta manera se analizará la influencia de la radiación solar, temperatura ambiente, eficiencia del colector y velocidad del viento a diferentes horas del día.

3.1 Información de los colectores solares

El prototipo diseñado consta de cuatro colectores, dos con tubería de PVC y dos con tubería de cobre tipo M, a través de botellas de PET de 1,35 y 3 litros, respectivamente. La Figura 15 muestra la disposición de cada uno de los colectores, así también en el Anexo 1 indica el procedimiento para elaborar el colector solar.

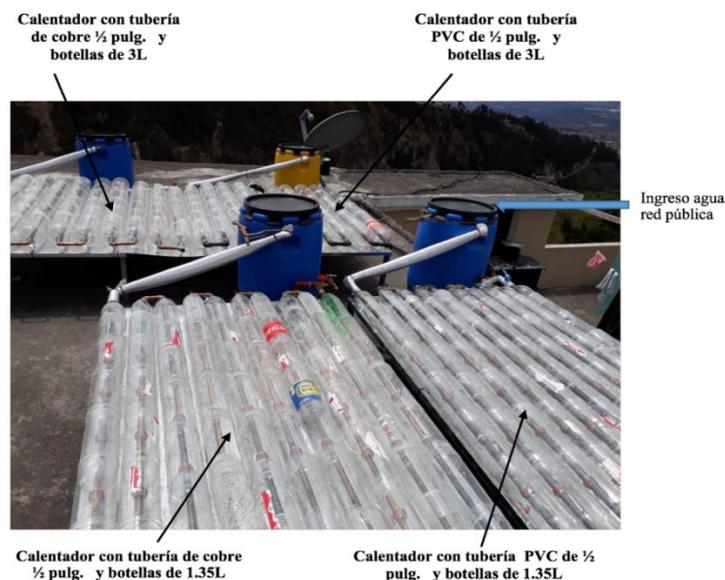


Figura 15. Estructura y elementos de los colectores.

La Figura 16 presenta la vista superior del colector con tubería de cobre tipo M con botellas de PET de 1,35 litros, donde se detalla la ubicación de la salida de agua caliente, así como el tanque de almacenamiento, al cual se encuentra acoplada una bomba que succiona el agua para mantenerla en recirculación.

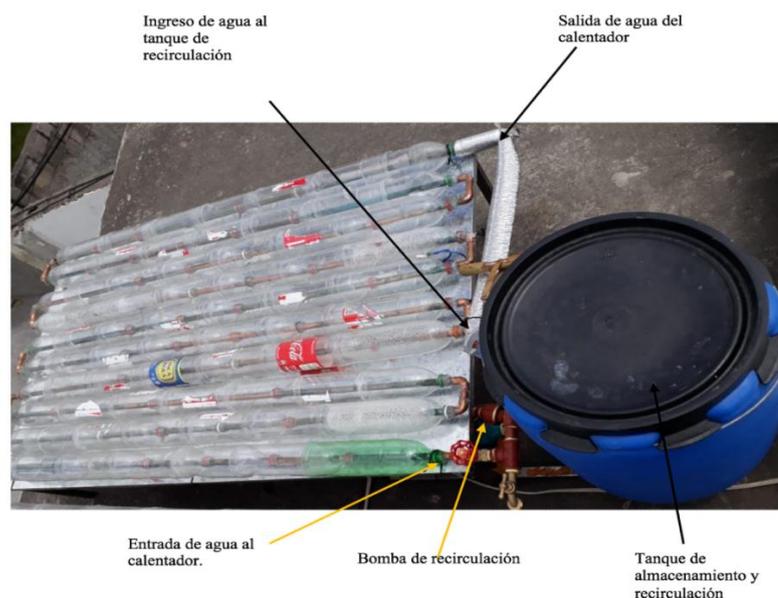


Figura 16. Vista superior del colector de tubería de cobre tipo M de 1,35 litros.

3.2 Funcionamiento del equipo

Este calentador de agua ecológico es simple, así como de libre mantenimiento para reducir costos por el consumo de energía además puede reducir el impacto ambiental por la contaminación de las botellas PET. La descripción de los materiales empleados para la construcción del prototipo se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Especificaciones de los materiales que integran los colectores.

Denominación	Diámetro Nominal (plg)	D.ext (plg)	D.ext (mm)	D.int (plg)	D.int (mm)	Espesor de pared (plg)	Espesor de pared (mm)
Tubo redondo PVC, longitud 15m, pintado de negro.	½	0,84	21,3	0,609	15,5	0,109	2,8
Tubo redondo Cobre tipo M, longitud 15m.	½	5/8	15,87	----	----	0,028	0,71
Botella PET de 3 litros.	----	----	116,81	----	----	----	0,25
Botella PET de 1,35 litros.	----	----	81	----	----	----	0,25

El agua de la red pública ingresa en el tanque de almacenamiento el cual esta acoplada a una bomba periférica (Ver Anexo 1) para que el fluido circule a través del calentador, aprovechando el efecto invernadero que se crea en el interior de las botellas PET para calentar el fluido, esto debido a la radiación que incide en el calentador. La Tabla 13 muestra los datos de placa de la bomba de recirculación instalada. El ciclo se repite continuamente para aprovechar al máximo la radiación, así como el efecto invernadero que se obtiene.

Tabla 13. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga.

		Marca	Paolo Pump PBP -50		
Q.	5 – 40 l/min	H.	38 -5 m	kW	0.37
H. max.	40 m	Q. max.	40 l/min	HP	0.5
Voltaje	115/230	Hz.	60	rev	3400 ⁻¹

3.3 Obtención de datos

Para la obtención de datos en cada colector solar, se instaló 4 sensores de temperatura dispuestos equitativamente a lo largo de la tubería de 15 m. El agua es movida por una bomba periférica durante cada prueba realizada. Se realizaron distintas pruebas durante 16 semanas, con un inicio en la mañana a las 09:00 horas para cada prueba hasta las 15:00 horas que finaliza la obtención de datos. La Tabla 14 presenta los datos climáticos de los días seleccionados para analizar, en base al valor de radiación promedio obtenido que en promedio es de 495,26 W/m².

Tabla 14. Condiciones climáticas de los días de pruebas.

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5
Fecha	09/03/2019	25/04/2019	16/05/2019	28/05/2019	20/06/2019
Rad. Max. [W/m ²]	886,40	723,00	790,70	790,70	837,90
Rad. Min. [W/m ²]	116,40	248,20	127,30	150,90	109,30
Rad. Prom. [W/m ²]	571,38	530,21	405,40	436,22	533,07
Vel. Viento [m/s]	1,28	1,93	2,31	1,65	2,06

En este período de tiempo, se muestran los valores de radiación solar más altos en la ciudad de Quito, llegando a valores máximos de 900 W/m^2 en un día soleado, así como los valores mínimos de $127,3 \text{ W/m}^2$ en un día nublado, la obtención de los datos es cada 10 minutos en ese intervalo de tiempo durante los días de prueba.

3.4 Datos de parámetros ambientales

Con el fin de conocer las distintas variables tales como: radiación, temperatura ambiente, velocidad del viento, entre otras, se usó una estación meteorológica, con una pantalla digital como se muestra en la Figura 15.



Figura 17. Estación meteorológica.

3.5 Datos experimentales

Los resultados presentados en este capítulo son similares a los obtenidos por Lenz et al. [18], que evalúan un sistema de calentamiento de agua construido con materiales comúnmente utilizados en las construcciones de casas, tubo PVC, así como las botellas PET. El colector probado por los autores fue una placa plana de 1 m^2 , con lecturas y recolección cada 5 minutos desde las 10:00 horas hasta las 16:00 horas. Mientras que Ozgen et al. [17], indican que la temperatura generadas por el colector fue de $39,87 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.5.1 Prueba 1

La Figura 18 presenta el incremento de temperatura del agua en los cuatro colectores del día 09 de marzo de 2019 en un horario de prueba desde las 09:00 horas hasta 15:00 horas, obteniendo una temperatura de $44,8 \text{ }^\circ\text{C}$ para el colector de PVC con botellas de 1,35 litros y obteniendo un incremento de temperatura del 0,81 % para el colector de cobre tipo M con botellas de 1,35 litros. Mientras que para los colectores de PVC y cobre tipo M con botellas de 3 litros se obtuvo una temperatura máxima de

49,7 °C, un incremento de 9,05 % con botellas PET de 3 litros con una radiación máxima de 886.4 W/m², tal como se muestra en el Figura 19.

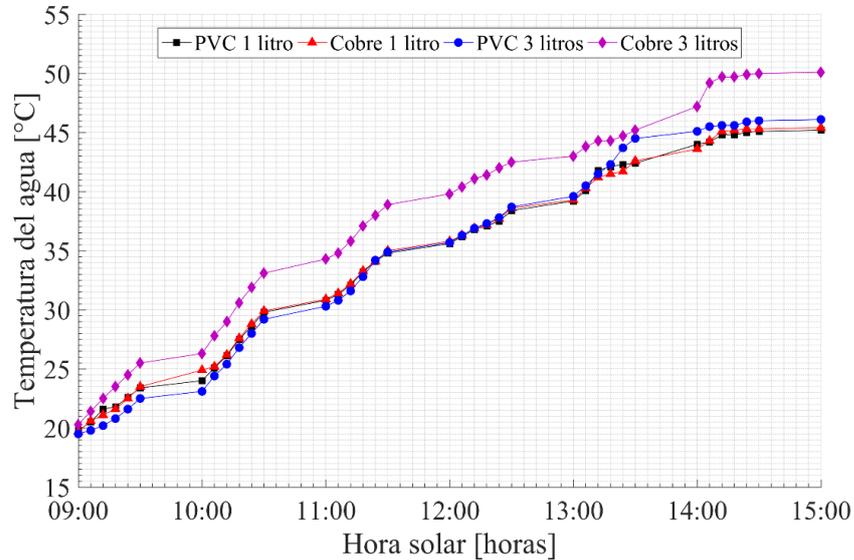


Figura 18. Aumento de temperatura del agua a diferentes horas del día en los colectores solares, prueba 1.

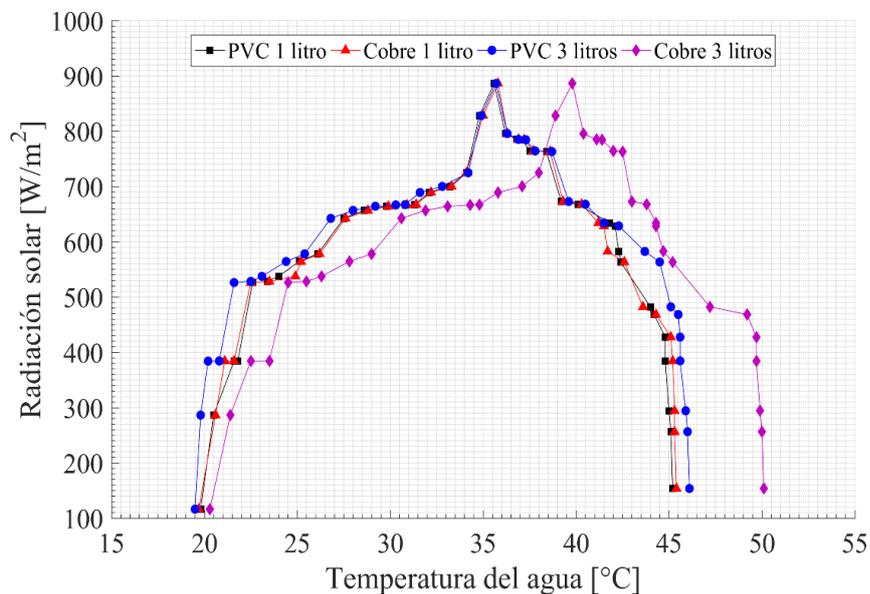


Figura 19. Influencia de la radiación solar en la temperatura del agua, prueba 1.

Según la Figura 19, se tiene una radiación mínima de 116,4 W/m² con temperatura inicial de 19,6 °C para los colectores de PVC con botellas de 3 litros y para el cobre tipo M con botellas de 1,35 litros. A las 09:00 horas, se tuvo una temperatura superficial de las botellas PET de 19,8 °C. También se presenta el aumento de

temperatura superficial de los materiales que se encuentran en los colectores para del día 18 de junio de 2019 iniciando con 19,8 °C para la superficie de las botellas así como el aire interior de las botellas es de 24,6 °C, finalizando a las 15:00 horas con temperaturas de 30,3 °C para la superficie de las botellas además con 59,7 °C el aire interior de las botellas, con una radiación máxima de 886,4 W/m² como se muestra en la Figura 20.

Obteniendo la radiación máxima a las 13:20 horas, con una temperatura superficial en las botellas de 32,6 °C y el incremento de temperaturas en las superficies de las tuberías de 58,6 °C para el cobre tipo M, así también el PVC con 42,9 °C. En este día el calentador alcanza una temperatura máxima de 62,1°C en el interior de las botellas a las 13:30 horas con 763,1 W/m² de radiación.

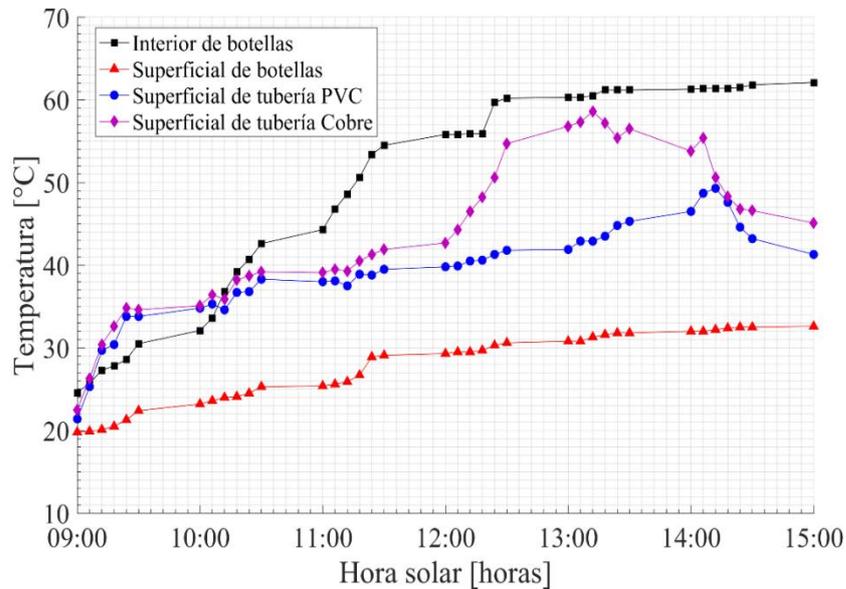


Figura 20. Aumento de temperatura superficial en los materiales de los colectores solares, prueba 1.

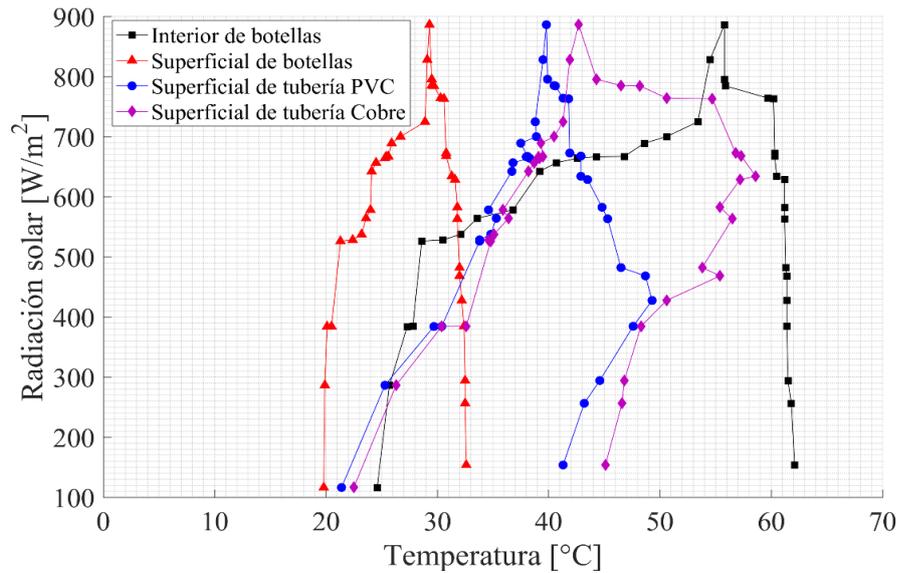


Figura 21. Influencia de la radiación solar respecto a la temperatura superficial de los materiales de los colectores solares, prueba 1.

3.5.2 Prueba 2

La Figura 22, presenta el incremento de temperatura del agua en los cuatro colectores el día 25 de abril de 2019 en un horario de prueba desde las 09:00 horas hasta 15:00 horas, obteniendo un incremento de temperatura de 18,5 °C hasta 45,4 °C para el colector de PVC con botellas de 1,35 litros. Se presentó un incremento de 1,32 % en la temperatura del agua con respecto al primer día de prueba, un 2,38% para el colector de cobre tipo M con botellas de 1,35 litros, 2,56 % para el calentador de PVC con botellas de 3 litros y 2,17 para el calentador de cobre tipo M con botellas de 3 litros.

La Figura 23, muestra la relación entre la radiación solar así como con la temperatura del agua. Se presentó una radiación máxima de 726,6 W/m² con una temperatura de 33,8 °C para el colector de PVC con botellas de 1,35 litros y de 3 litros. Así también, la temperatura alcanzada con la radiación máxima es de 34,2 °C para los calentadores de cobre tipo M con botellas de 1,35 litros, mientras que para los calentadores de cobre tipo M con botellas de 3 litros la temperatura máxima es de 37,6 °C. Así también en la Figura 24 indica un incremento del 39,84 % entre la temperatura interna de la botella respecto a la temperatura de la superficie de la botella.

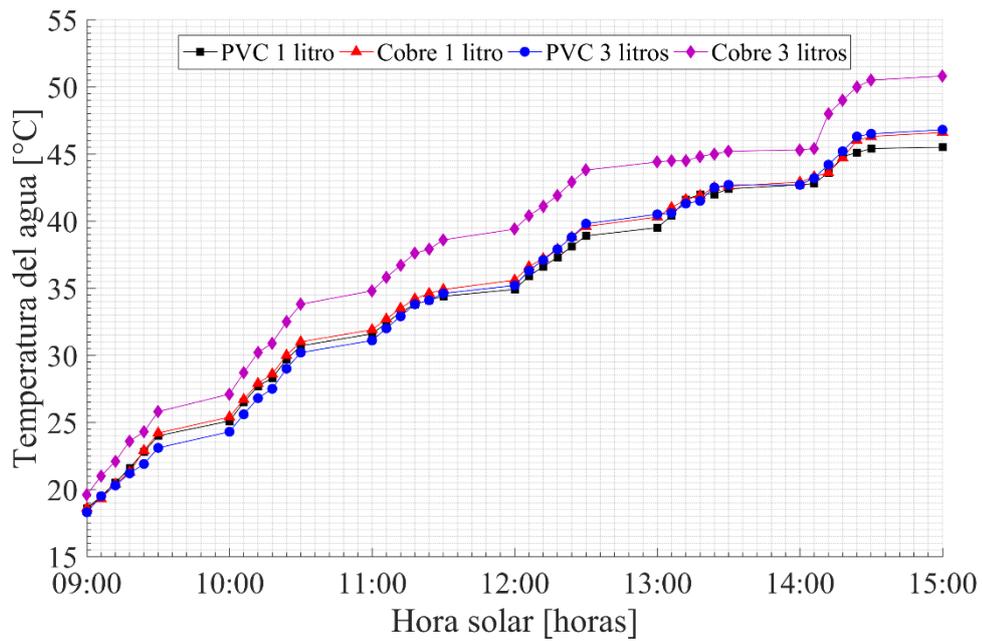


Figura 22. Aumento de temperatura del agua a diferentes horas del día en los colectores solares, prueba 2

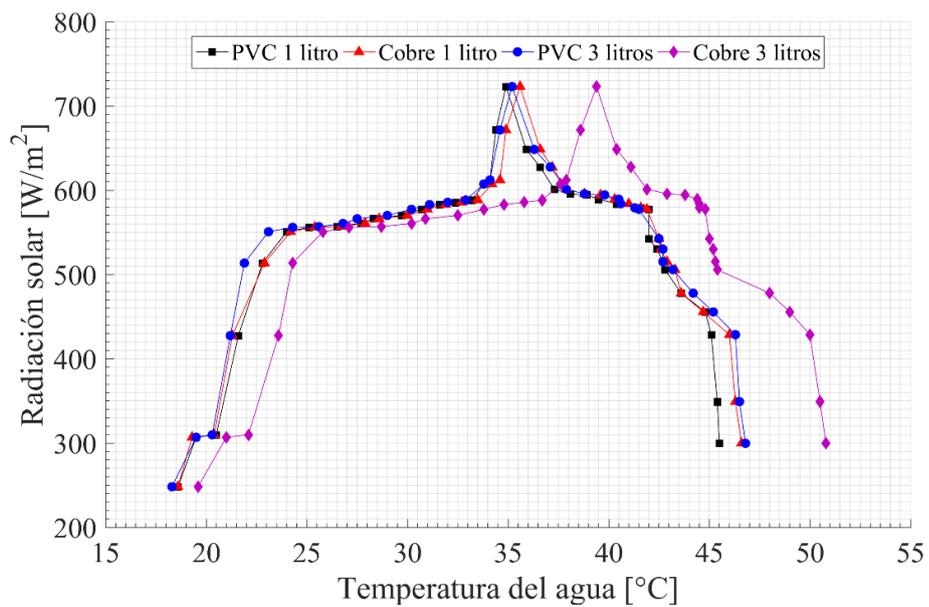


Figura 23. Influencia de la radiación solar en la temperatura del agua, prueba 2.

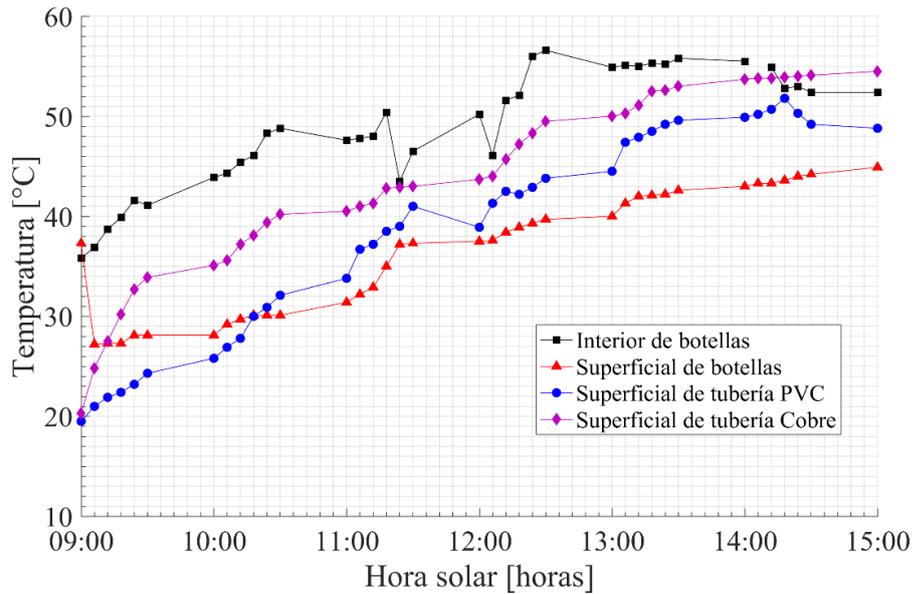


Figura 24. Aumento de temperatura superficial en los materiales de los colectores solares, prueba 2.

La Figura 25, indica la influencia de la radiación en los materiales de los colectores. Para la superficie de las botellas PET se tiene una temperatura de 37,3 °C con 248,2 W/m² de radiación y un máximo de 44,2 °C con 364,2 W/m² de radiación a las 15:00 horas. Con la radiación máxima de 726,6 W/m² a las 11:30 horas, se obtiene temperaturas en las superficies de los tubos de 38,5 °C para el PVC y 42,9 °C para el cobre tipo M. Mientras que el aire interior de las botellas PET estuvo a una temperatura interna de 50,4 °C, presentando un incremento de temperatura del 25,9 % respecto a la temperatura superficial con radiación de 556 W/m². La temperatura interna máxima es de 56,6 °C con una radiación de 601,2 W/m² a las 12:50 horas.

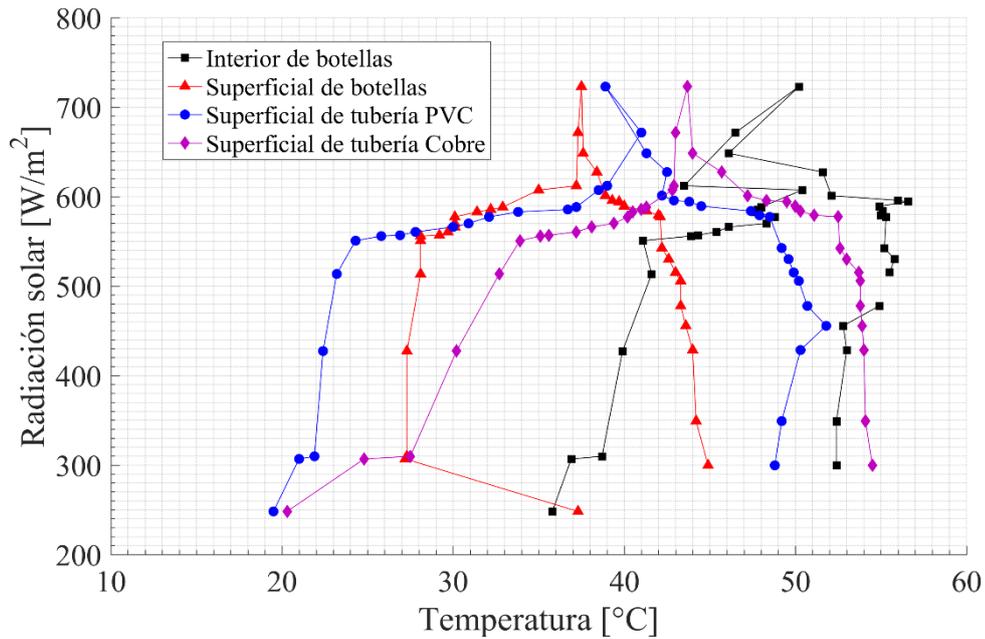


Figura 25. Influencia de la radiación solar respecto a la temperatura superficial de los materiales de los colectores solares, prueba 2.

3.5.3 Prueba 3

Para el día 16 de mayo de 2019, el aumento de la temperatura del agua en el tiempo de prueba se presenta en la Figura 26. Para los calentadores de PVC, se tiene la temperatura del agua de 18,1°C hasta 38,9 °C para el calentador con botellas de 1,35 litros así también para el calentador con botellas de 3 litros las temperaturas del agua inician desde 18,2 °C hasta 39,6 °C con una radiación máxima de 790,7 W/m² a las 11:30 horas. Mientras que los calentadores de cobre tipo M tienen un incremento de la temperatura final del agua en un 3,47 % para el calentador con botellas de 1,35 litros con respecto al calentador de PVC con botellas de 1,35 litros y un 10,20 % para el calentador con botellas de 3 litros. La temperatura final del agua del colector de PVC fue de 39,6 °C mientras que el del cobre tipo M fue de 44,1°C a las 15:00 horas. La Figura 27 muestra la influencia de la radiación solar durante el proceso de calentamiento.

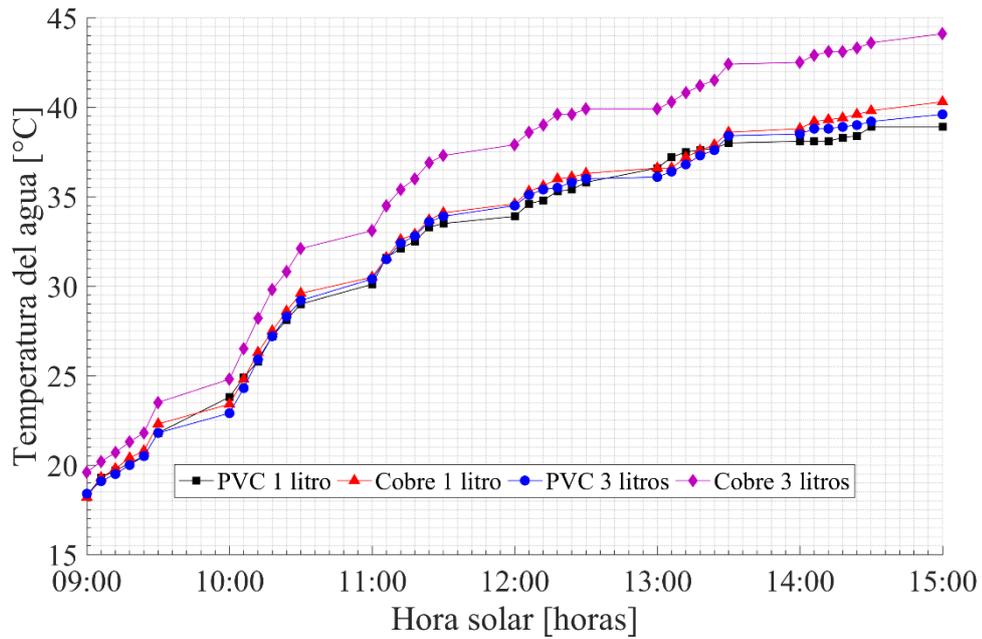


Figura 26. Aumento de temperatura del agua a diferentes horas del día en los colectores solares, prueba 3.

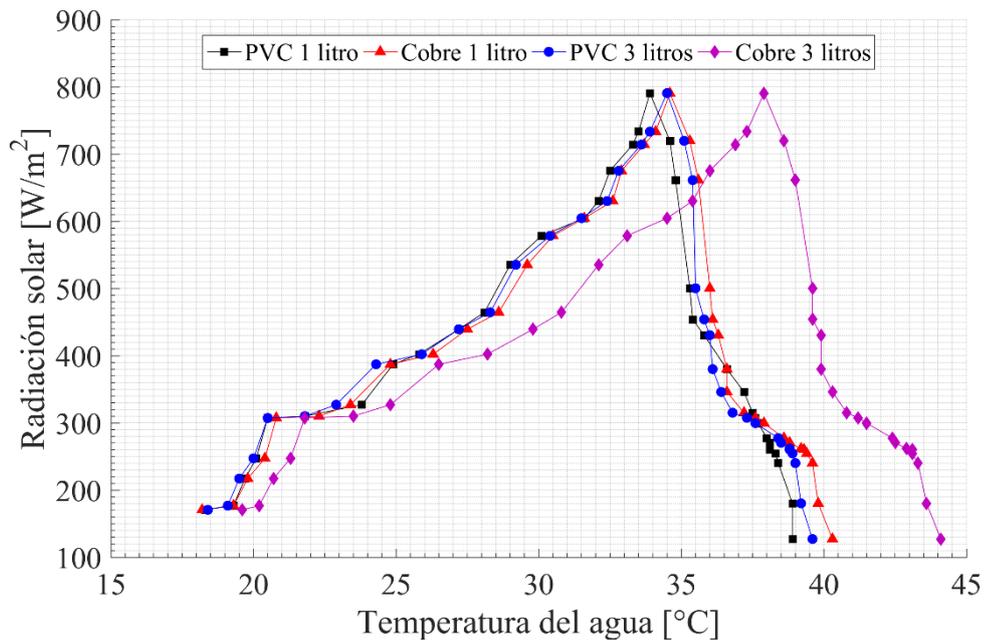


Figura 27. Influencia de la radiación solar en la temperatura del agua, prueba 3.

En la Figura 28, se muestra el incremento de la temperatura superficial de las botellas PET, iniciando a las 09:00 horas con 25,3 °C a 176,9 W/m² de radiación (Figura 29) y finalizando a las 15:00 horas con 30,5 °C a 315,2 W/m² de radiación. Se tuvo una temperatura máxima 45,2 °C a las 11:20 horas con una radiación de 630,2 W/m². Para la temperatura interior de las botellas se tiene un máximo de 52,8 °C a las 14:40

horas, mientras que a las 11:30 horas se tuvo radiación máxima de $790,7 \text{ W/m}^2$ con una temperatura interior de $46,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 27). Desde las 11:30 horas hasta las 15:00 horas, se presentó un incremento de $12,31 \%$. Para la temperatura superficial de la tubería PVC, así como el de cobre tipo M se mantuvo una diferencia promedio de $33,3 \%$ teniendo una temperatura máxima en la tubería de cobre tipo M de $49,3 \text{ }^\circ\text{C}$ a las 14:20 horas con una radiación de $270,5 \text{ W/m}^2$.

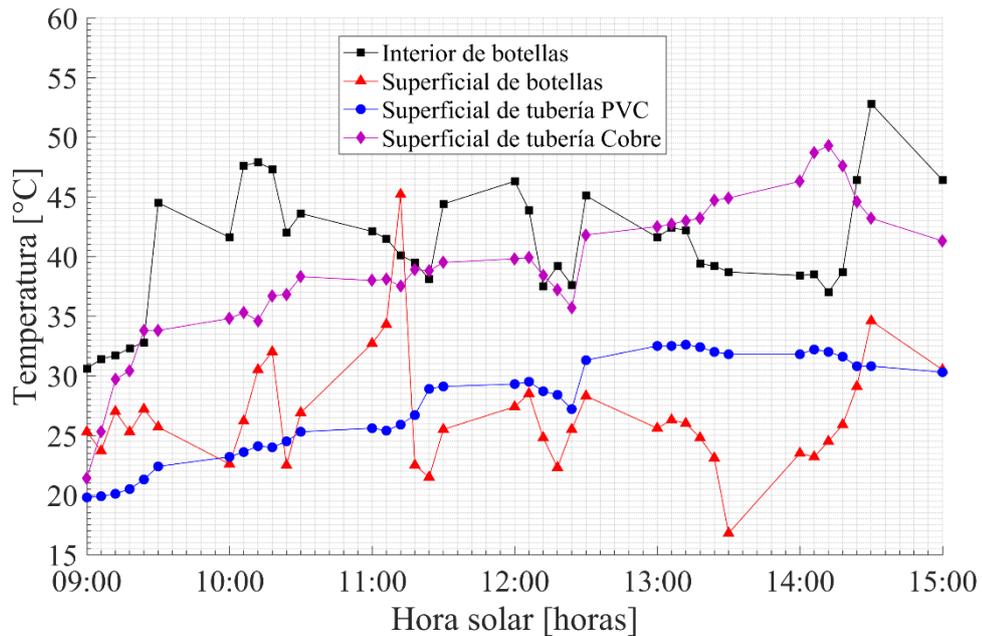


Figura 28. Aumento de temperatura superficial en los materiales de los colectores solares, prueba 3.

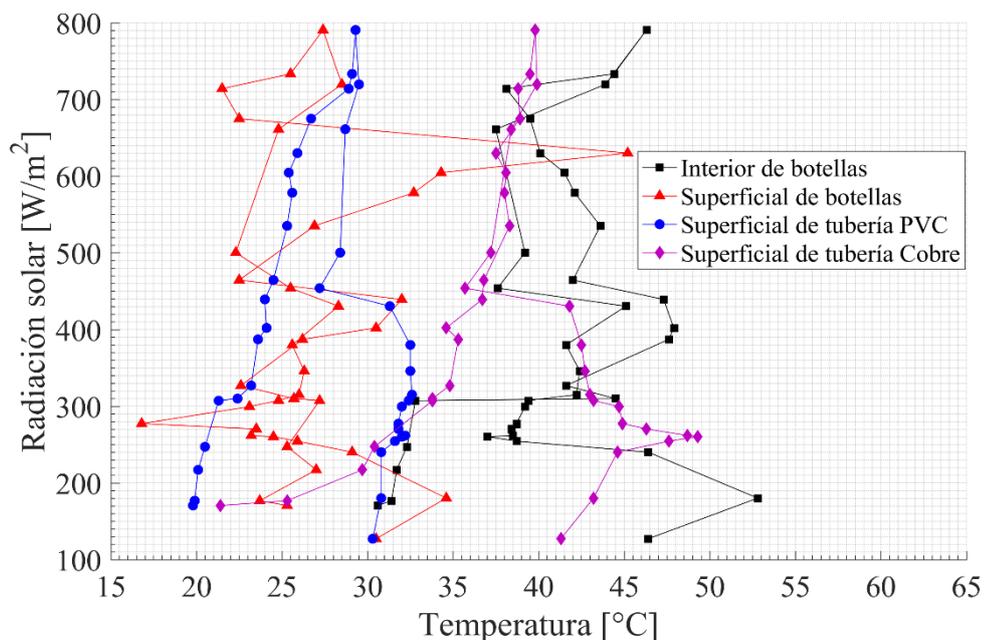
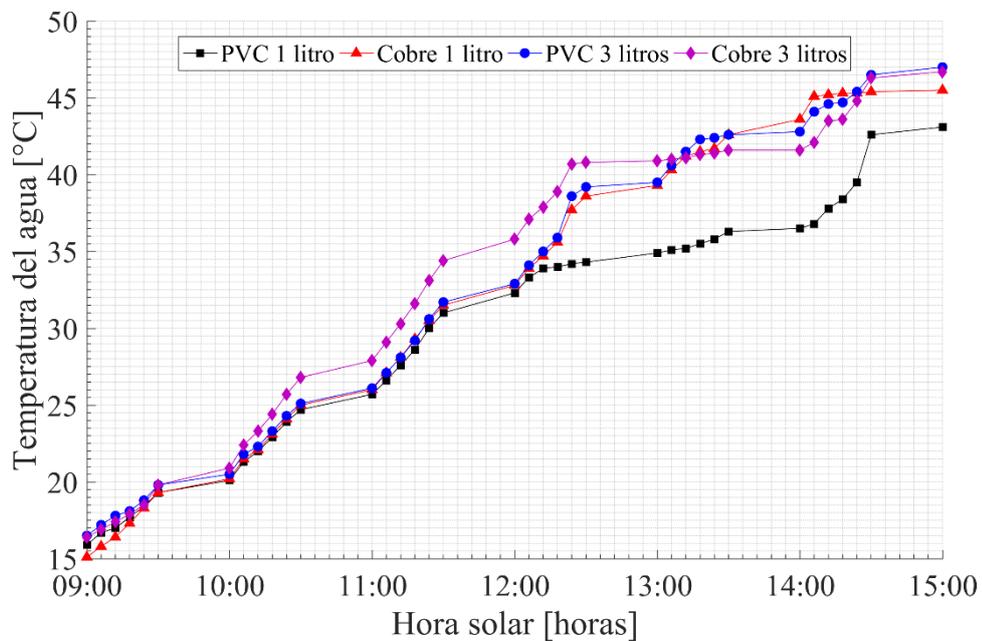


Figura 29. Influencia de la radiación solar respecto a la temperatura superficial de los materiales de los colectores solares, prueba 3.

3.5.4 Prueba 4

La Figura 30 indica el aumento de la temperatura del agua el 28 de mayo de 2019 desde las 09:00 horas hasta las 15:00 horas. En ésta se muestra el incremento de la temperatura del agua en un 52,58 % para los dos colectores con tubería PVC. También se presentó una diferencia entre tres colectores: dos colectores con tubería PVC y uno de cobre tipo M, por lo tanto, la diferencia es del 2,31 % desde las 09:00 horas hasta las 12:00 horas. Mientras que en la Figura 31, se indica el incremento de la temperatura del agua hasta las 12:00 horas con una radiación de $675,7 \text{ W/m}^2$. Se alcanzó temperaturas del agua de $33,5 \text{ }^\circ\text{C}$ para los colectores de PVC, así como $34,7 \text{ }^\circ\text{C}$ para los de cobre tipo M con botellas de 1,35 litros, con radiación máxima de $790,7 \text{ W/m}^2$. En este día con una radiación solar de $310,1 \text{ W/m}^2$, se obtuvo $35 \text{ }^\circ\text{C}$ para el colector de PVC con botellas de 3 litros, mientras que un $37,9 \text{ }^\circ\text{C}$ para el colector de cobre tipo M con botellas de 3 litros. Finalizando a las 15:00 horas con una temperatura de $42,6 \text{ }^\circ\text{C}$ y $45,2 \text{ }^\circ\text{C}$ para el calentador de PVC y cobre tipo M con botellas PET de 1,35 litros, respectivamente. Para el calentador de PVC alcanzó temperaturas de $38,8^\circ\text{C}$ con botellas PET de 3 litros y para el calentador de cobre tipo M, se a $45,7 \text{ }^\circ\text{C}$ de igual manera con botellas PET de 3 litros, con radiación de $310,1 \text{ W/m}^2$



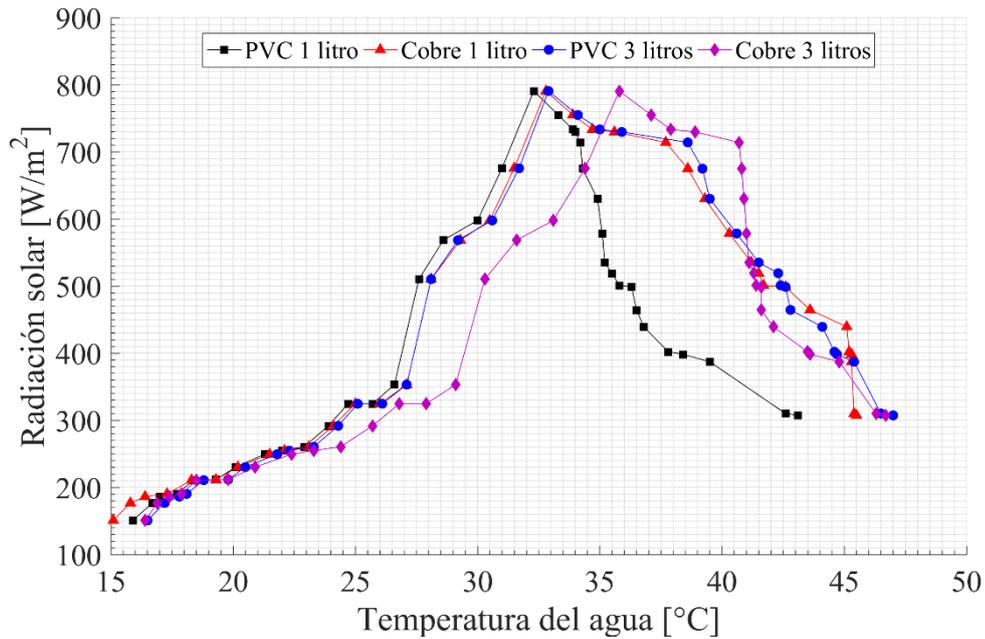


Figura 30. Influencia de la radiación solar en la temperatura del agua, prueba 4.

El aumento de la temperatura interior máxima de las botellas PET es de 56,6 °C a las 14:30 horas según muestra la Figura 32. También se muestra el aumento de la temperatura superficial de los tubos iniciando con una temperatura de 19,5 °C y 20,4 °C para el PVC, así como la del cobre tipo M, respectivamente. A su vez teniendo una diferencia de 4,41 % hasta las 12:00 horas, mientras que a las 15:00 horas existe una diferencia del 2,98 %. Además, se presentó un incremento del 8,55 % entre la temperatura interior de las botellas PET y la temperatura superficial del cobre tipo M.

En la Figura 33, indica la influencia de la radiación solar en las temperaturas de los materiales. Con una radiación solar máxima de 790,7 W/m², se alcanzó temperaturas superficiales de: 32,2 °C para la botella PET, 50,5 °C para el tubo PVC y 54,5 °C para el tubo de cobre tipo M. A las 15:00 horas cuando la radiación solar disminuyó un 34,4 % se obtuvo temperaturas superficiales de: 31,1 °C para la botella PET, 48,8 °C para el tubo PVC así también 50,3 °C para el tubo de cobre tipo M.

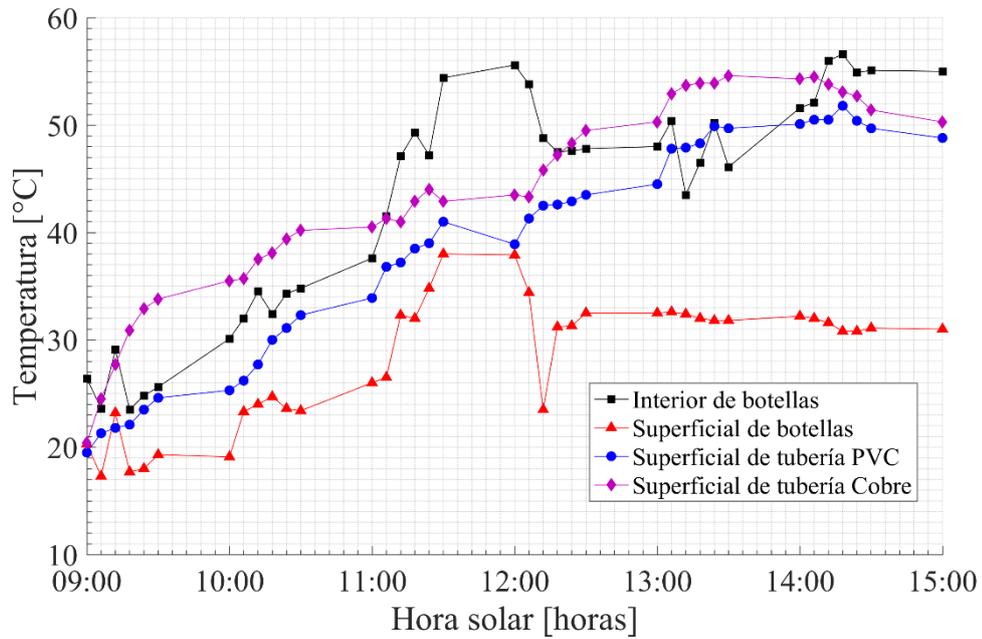


Figura 31. Aumento de temperatura superficial en los materiales de los colectores solares, prueba 4.

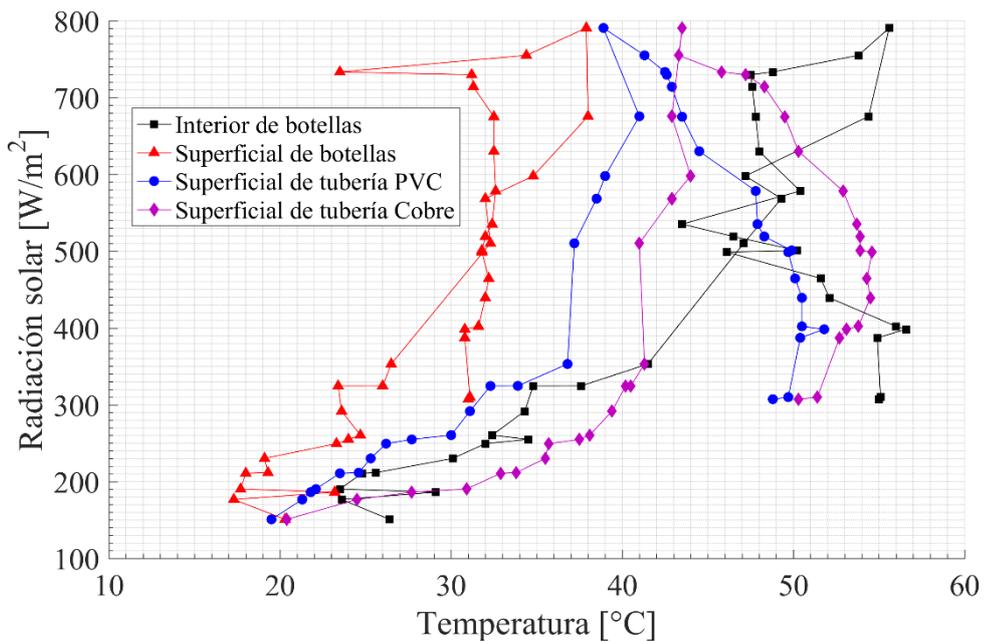


Figura 32. Influencia de la radiación solar respecto a la temperatura superficial de los materiales de los colectores solares, prueba 2.

3.5.5 Prueba 5

La Figura 34 muestra el día de pruebas realizado con los calentadores solares el día 20 de junio de 2019. La temperatura inicial del agua para el calentador con tubos de PVC con botellas de 1,35 litros fue de 18,7 °C a las 09:00 horas y finalizando a las 15:00 horas con 46,9 °C en la tubería de 15 m además las lecturas de los datos fue

cada 10 minutos. Mientras que, en el calentador de PVC con botellas de 3 litros, se elevó la temperatura del agua un 1,07 %. Se puede evidenciar una diferencia del 14,63 % entre el colector con botellas de 3 litros y un 11,40 % respecto al calentador de PVC con botellas de 1,35 litros. Para la temperatura del colector de cobre tipo M con botellas de 1,35 litros, se obtiene un incremento de 18,96 % y un 30,04 % en el colector de cobre tipo M con botellas de 3 litros. Se obtuvo valores máximos en el colector con tubos PVC de 38,9 °C y una diferencia del 16,7 % con el calentador de PVC con botellas de 3 litros, así como un 13,56 % para el calentador de PVC con botellas de 1,35 litros.

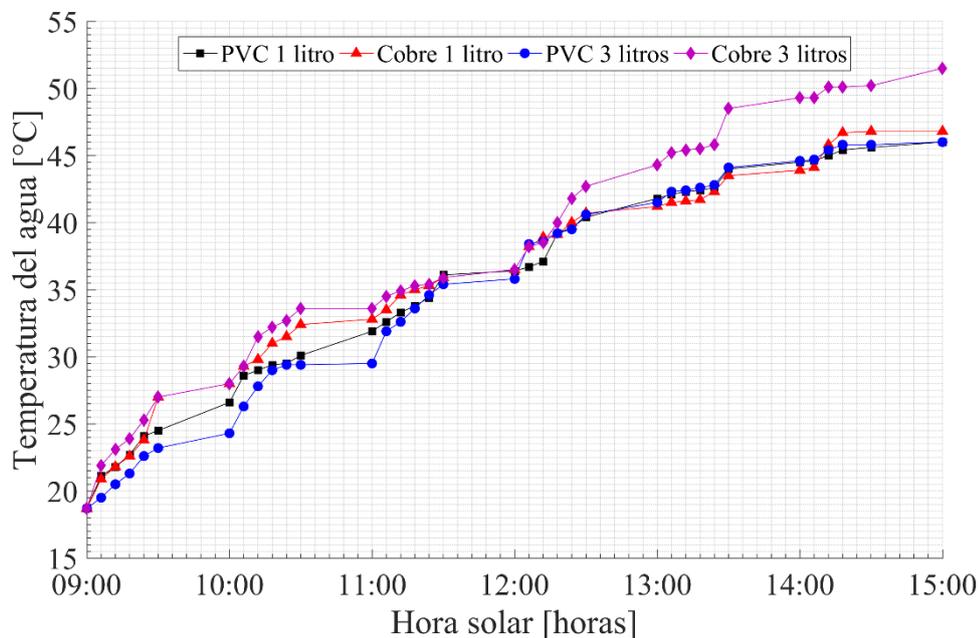


Figura 33. Aumento de temperatura del agua a diferentes horas del día en los colectores solares, prueba 5.

La Figura 35 indica el incremento de la temperatura del agua con respecto a la radiación. La radiación máxima para este día fue de 837,81 W/m² a las 12:00 horas mientras que para Lenz et al. [18], la radiación promedio es de 580 W/m². Para el día, 20 de junio del 2019 desde las 09:00 horas se tiene un incremento de la radiación en un 58,32 % hasta las 12:00 horas, llegando a disminuir hasta 201,3 W/m² a las 15:00 horas.

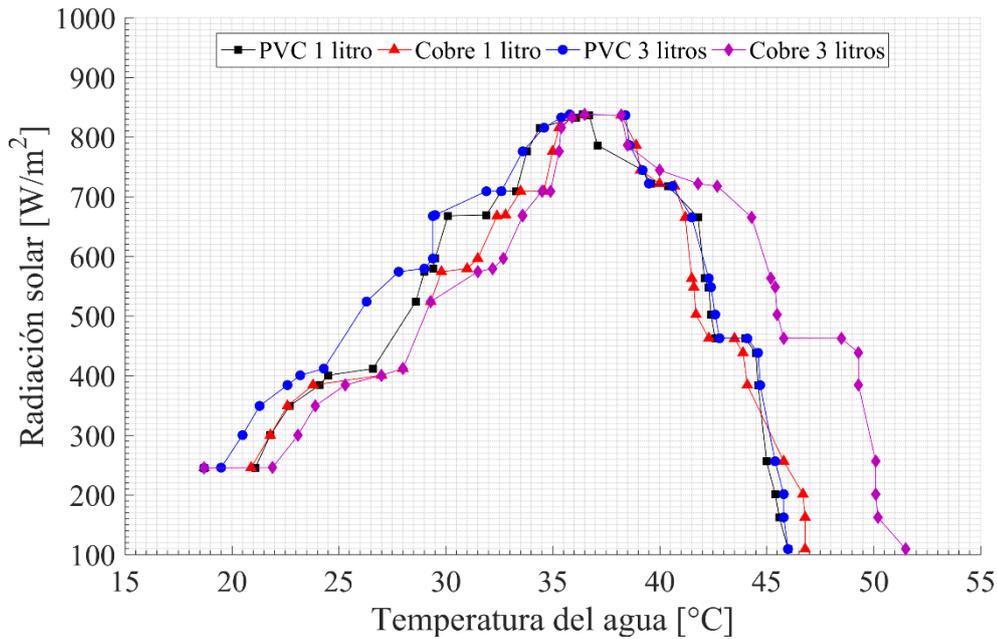


Figura 34. Influencia de la radiación solar en la temperatura del agua, prueba 5.

En la Figura 36, se presenta el incremento de la temperatura superficial de las botellas PET iniciando a las 09:00 horas a una temperatura de 29,7 °C con 349,2 W/m² de radiación solar (Figura 37) y finalizando a las 15:00 horas con una temperatura final de 62,1 °C, existiendo una radiación de 201,3 W/m². Para la temperatura interior de las botellas, se tuvo un máximo de 58,9 °C a las 14:40 horas, mientras que a las 12:00 horas se presentó una radiación máxima de 837,81 W/m² teniendo una temperatura interior de 41,5 °C presentando un incremento de 29,54 % desde las 12:00 horas hasta las 14:40 horas. Para la temperatura superficial de la tubería PVC así como la del cobre tipo M, se mantiene una diferencia promedio de 15,29 % teniendo una temperatura máxima en la tubería de cobre tipo M de 58,2 °C a las 14:00 horas con 665,3 W/m² de radiación solar.

La Figura 37 presenta la variación de estas temperaturas con respecto a la radiación solar.

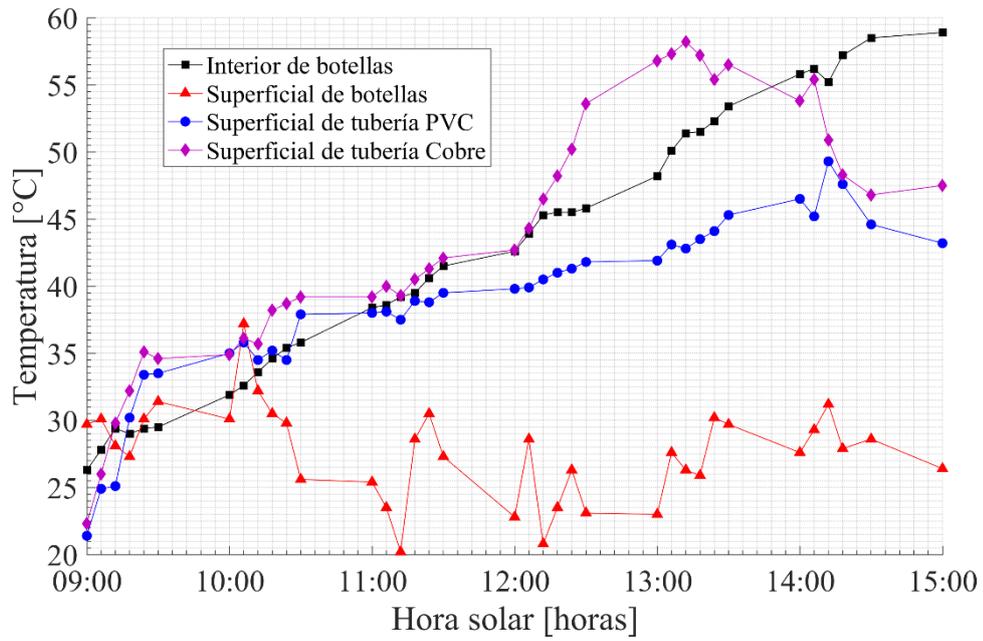


Figura 35. Aumento de temperatura superficial en los materiales de los colectores solares, prueba 5.

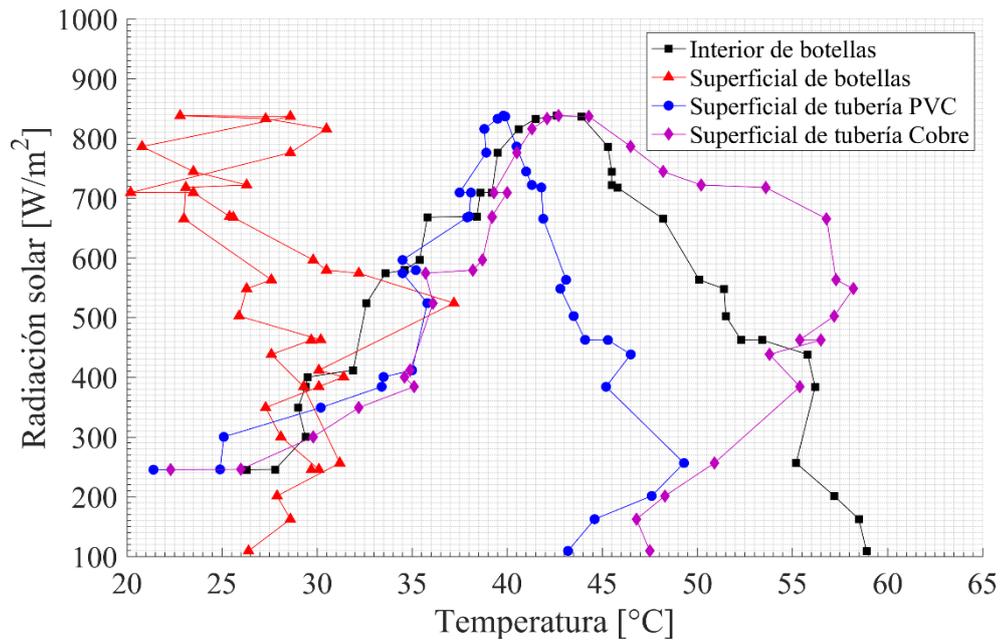


Figura 36. Influencia de la radiación solar respecto a la temperatura superficial de los materiales de los colectores solares, prueba 5.

3.5.6 Radiación solar

La radiación solar respecto a las horas durante los días de prueba se muestra en la Figura 38, iniciando con $116,4 \text{ W/m}^2$ para la prueba 1 con incrementos de: 28,92 % para la prueba 2, 49,34 % en la prueba 3, 34,05 % en la prueba 4 y un 66,67 % para

las pruebas 5. También se muestra la radiación máxima, es decir: $886,4 \text{ W/m}^2$, $726,6 \text{ W/m}^2$, $790,7 \text{ W/m}^2$, $780,7 \text{ W/m}^2$, $837,81 \text{ W/m}^2$ para las 5 pruebas realizadas desde el día 9 de marzo al 20 de junio de 2019. La radiación solar influye directamente en la temperatura máxima alcanzada, así como en el tiempo de calentamiento. Mientras mayor sea la radiación solar, el agua alcanzará una mayor temperatura en un menor tiempo [70].

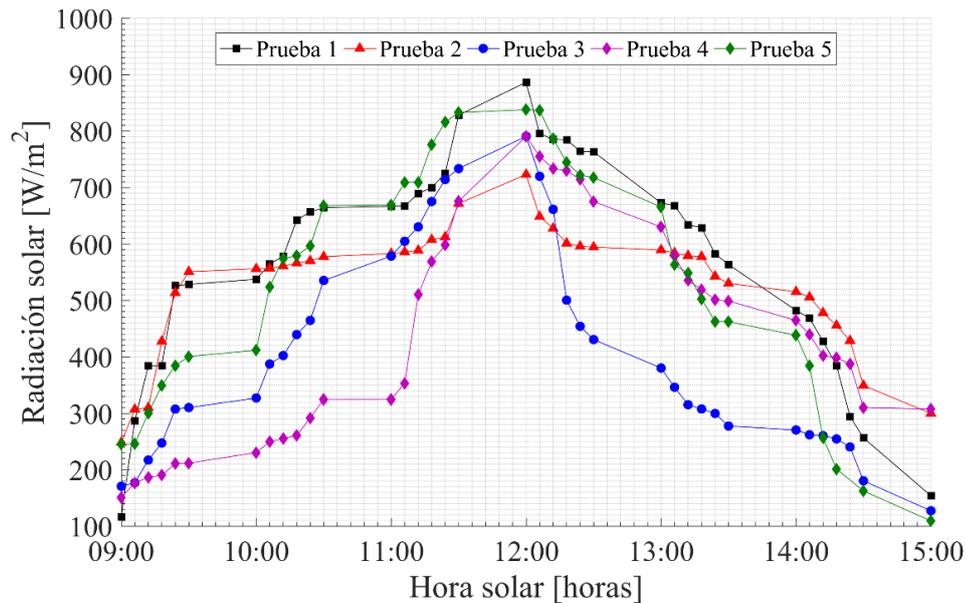


Figura 37. Radiación solar respecto a las horas del día, durante las pruebas realizadas en los colectores solares.

3.5.7 Pérdidas de calor en el agua

En la Figura 39, indica la cantidad del calor cedido en las pruebas que se seleccionaron. Desde las 11:00 horas hasta las 14:30 horas, se tuvo pérdidas iniciales de: 243 W, 498,6 W, 124 W, 267,2 W, 142,4 W para los días seleccionados, a su vez con un incremento en el calor cedido de: 55,31 %, 54,34 %, 77,76 %, 66,76 % y 62,10 %, para cada uno de los días de prueba, respectivamente.

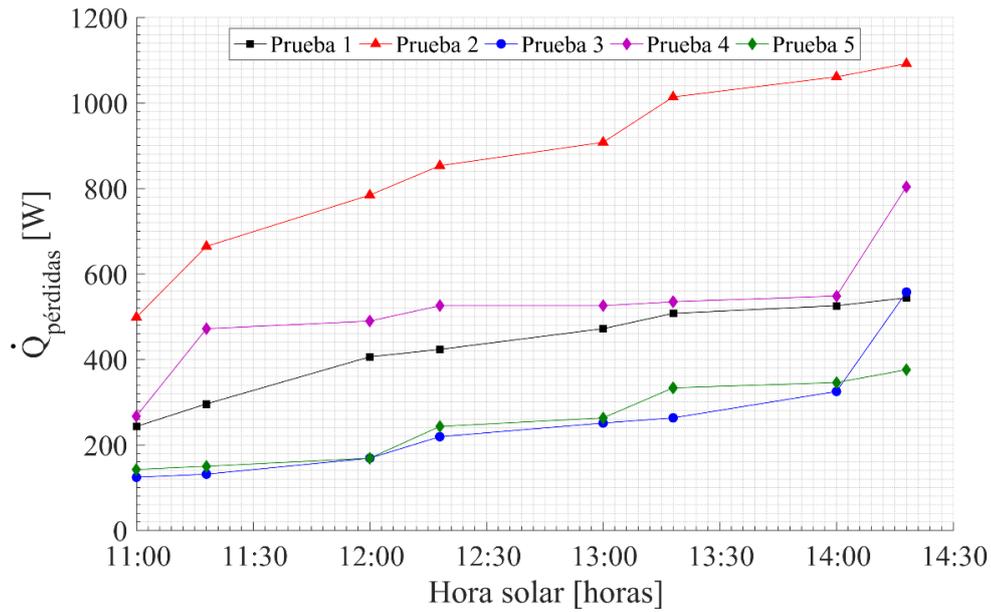


Figura 38. Calor cedido durante las horas del día durante las pruebas realizadas.

3.5.8 Pérdidas de calor por convección

En la Figura 40 se muestra el flujo de calor cedido por convección en las pruebas realizadas. La prueba 2 tiene un calor máximo de 539,7 W con diferencias de 52,75% con la prueba 1, un 51,45% con la prueba 3, el 27,85 % con la prueba 4 y 68,52% con la prueba 5.

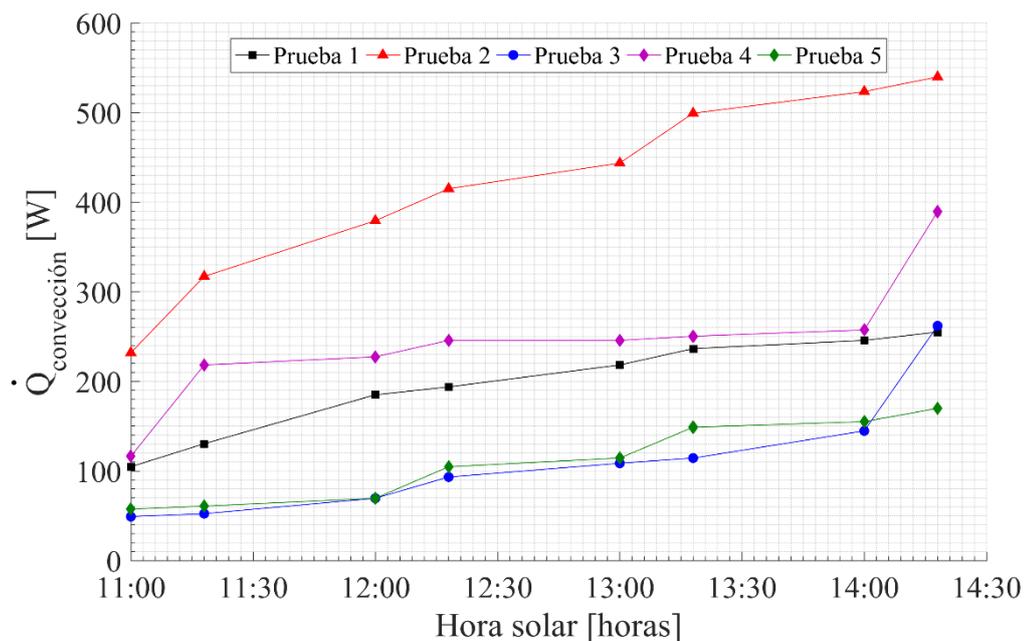


Figura 39. Calor cedido por convección a diferentes horas del día durante las pruebas realizadas.

3.5.9 Pérdidas de calor por radiación

En la Figura 41 se muestra el flujo de calor cedido por radiación de las pruebas realizadas. La prueba 2 tiene un calor máximo de 552 W con diferencias de 47,83 % con la prueba 1, un 46,4 7% con la prueba 3, 24,91 % con la prueba 4 y 62,72 % con la prueba 5.

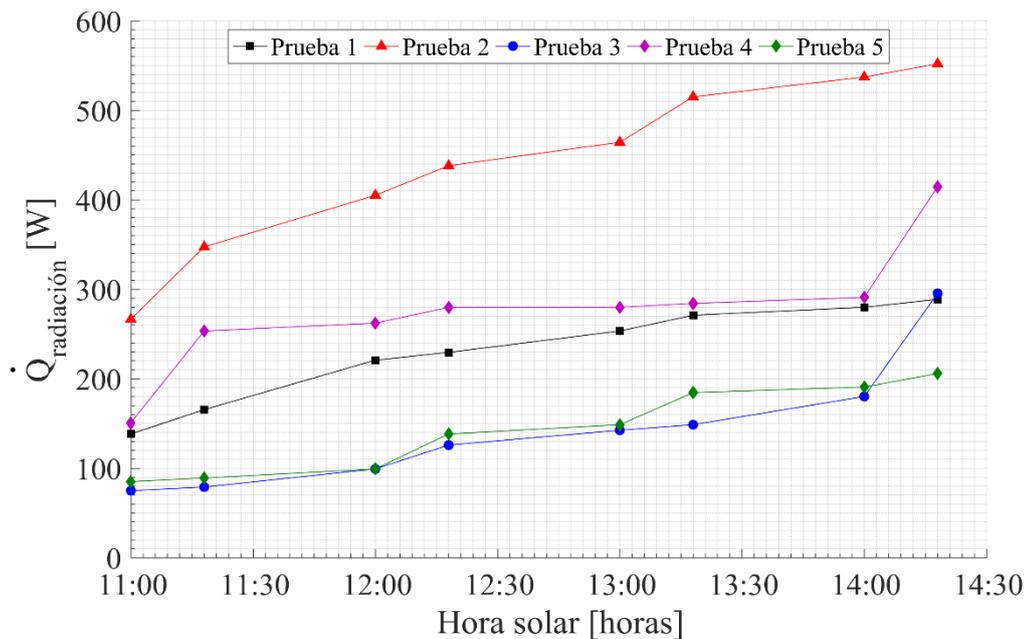


Figura 40. Calor cedido por radiación solar a diferentes horas del día durante las pruebas realizadas.

3.5.10 Calor incidente

En la Figura 42, indica el calor que incide en los colectores solares, para la prueba 1 se obtiene un máximo de 3052,39 W, para la prueba 2 es de 2489,71 W, prueba 3 así como la prueba 4 son de 2722,84 W y la prueba 5 con 2885,38 W teniendo en cuenta que a las 11:00 horas se tiene una radiación máxima. El calor incidente disminuye en un 45,59 % desde las 11:00 horas hasta las 14:30 horas mientras que la para los siguientes días son de: 36,97 %, 67,8 %, 58,9 % y 75,9 % respectivamente.

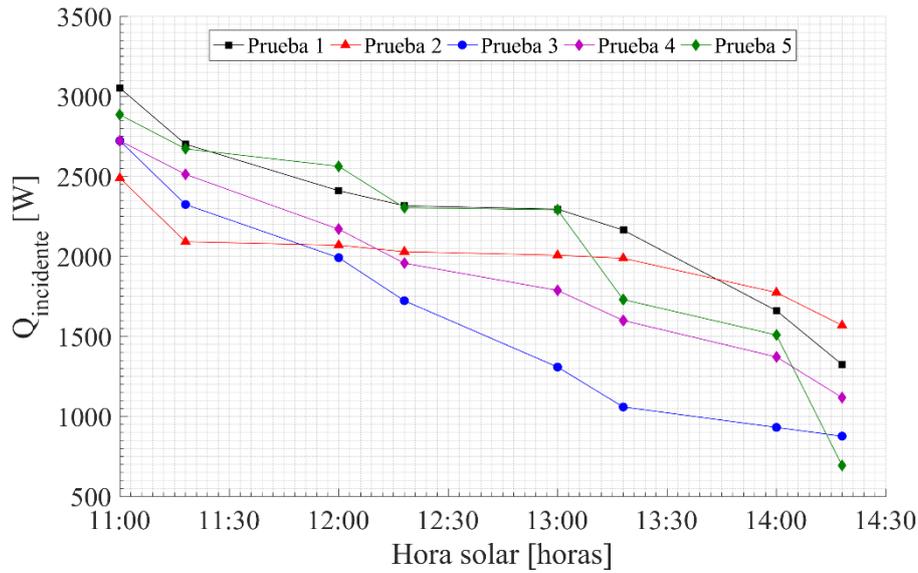


Figura 41. Calor incidente en los colectores solares PET y cobre tipo M

3.5.11 Calor ganado

En la Figura 43, muestra la ganancia de calor especialmente a las 11:00 horas siendo la prueba 5 la que gana más calor es decir 2522,32 W a 2027,91 W desde las 11:30 horas hasta las 13:00 horas, a partir de esta hora disminuye en un 88,42 % al finalizar el día de prueba es decir un mínimo de 317,49 W, la misma tendencia muestra los otros días de prueba.

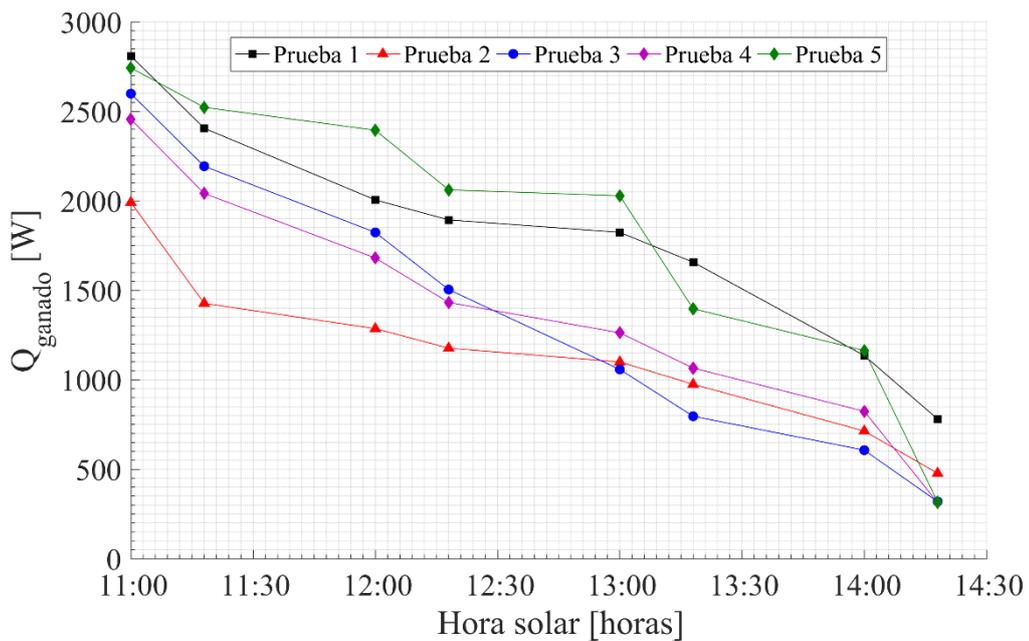


Figura 42. Calor ganado en los colectores PET y cobre tipo M

3.6 Eficiencia

La Figura 44, indica la eficiencia del colector a diferentes horas del día. Las condiciones de trabajo en las que se realizó las pruebas son: recirculación de 60 litros de agua en el colector, no existe un consumo de agua del tanque, por lo que se obtiene los siguientes valores, para la prueba 1 se inicia con una eficiencia del 0,92 a las 11:00 horas, disminuyendo la eficiencia hasta 0,59 a las 14:30 horas, teniendo así una eficiencia promedio del 79 % durante ese intervalo de tiempo. Para la prueba 2 inicia con un 0,80 hasta 0,30 obteniendo una eficiencia promedio de 55 %. Para la prueba 3 con 0,95 hasta 0,36 obteniendo el 78 % de eficiencia promedio. Para la prueba 4 inicia con 0,90 hasta 0,28 obteniendo así una eficiencia promedio del 68 % y para la prueba 5 una eficiencia promedio del 83 %. Para los días seleccionados en esta investigación así también teniendo en cuenta los factores climáticos como lo es la radiación (Figura 45), donde se muestra que si existe mayor radiación la eficiencia aumenta, por lo que esta es directamente proporcional ver Anexo 4. Ahora bien, estos valores presentados se obtienen bajos las condiciones antes mencionadas, existiendo consumo de agua la eficiencia promedio llegaría a un 32 %.

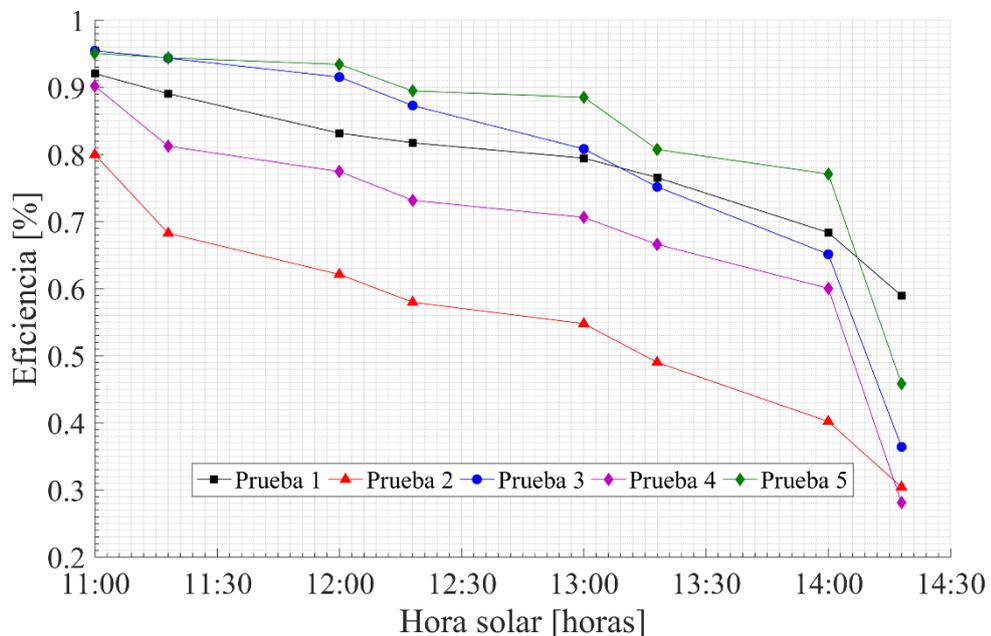


Figura 43. Eficiencia de los colectores según los días de prueba

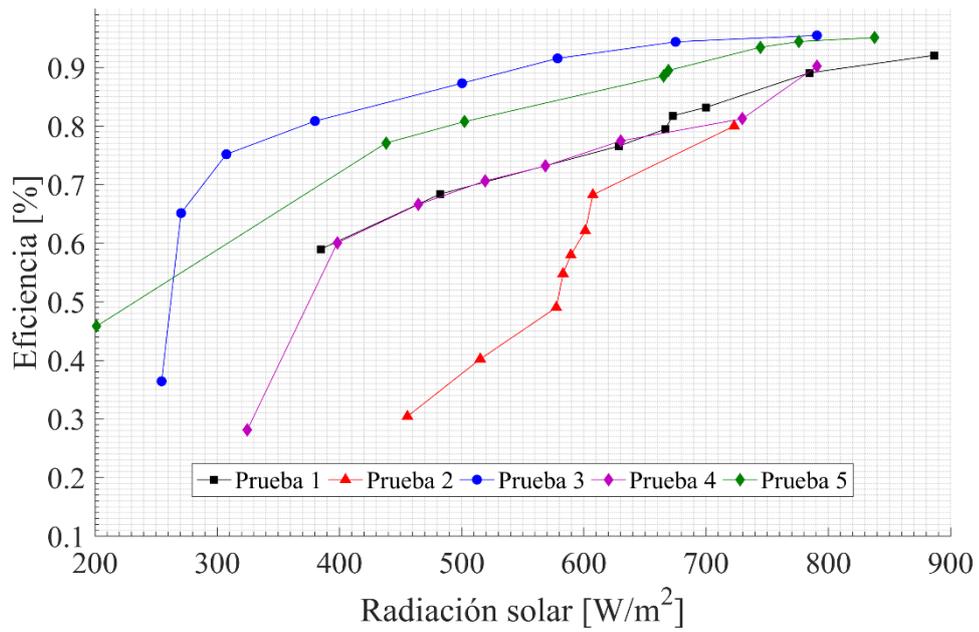


Figura 44. Eficiencia de los colectores vs la radiación

En la Figura 46 indica que para aumentar la temperatura del agua la eficiencia debe mantenerse por arriba del 50 % e igual que en la Figura 45, van a la par y son directamente proporcionales para obtener un óptimo rendimiento en los colectores solares.

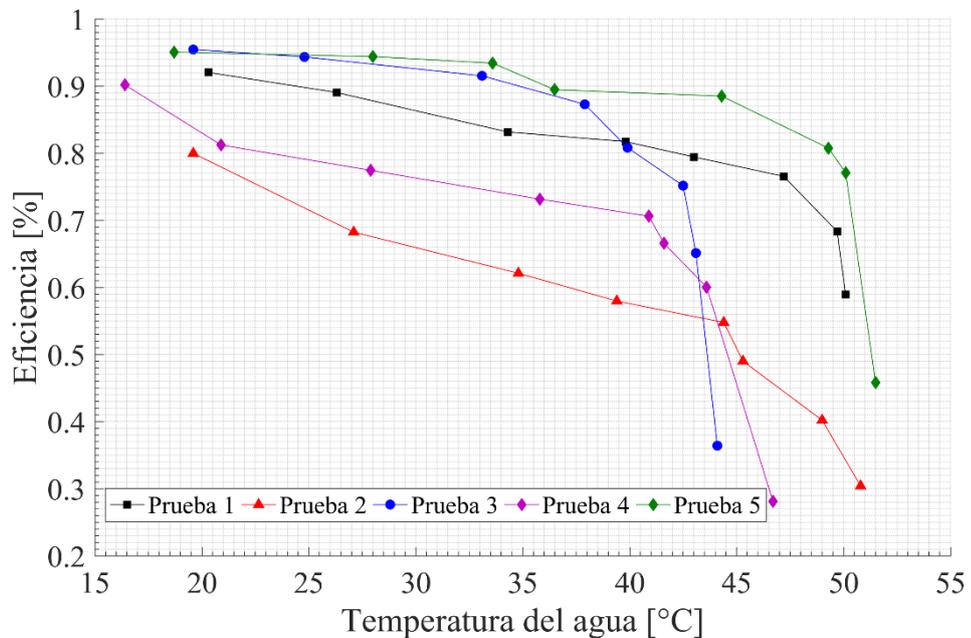


Figura 45. Eficiencia de los colectores vs la temperatura del agua

3.7 Análisis económico del proyecto

Aquí se presenta el análisis económico del presente proyecto que es la construcción de los 4 calentadores solares, 2 con tubería de PVC de 1/2 pulgada y 2 con tubería de cobre tipo M de 1/2 pulgada. Se presentan los costos de los materiales para la construcción, los valores de mano de obra para la elaboración de los 4 colectores solares.

3.7.1 Lista de equipos y materiales

El costo de fabricación total es de USD 1279,82 para la construcción de los cuatro colectores solares mencionados. Como se indica en la Tabla 15, se muestran los elementos así también los materiales necesarios para la construcción de los colectores que a su vez el valor unitario para el colector con tuberías PVC es de USD 180 y para el cobre tipo M de USD 220.

Tabla 15. Análisis económico de los elementos que integran los colectores

ITEM	CANTIDAD	COSTO	
		UNITARIO	SUB TOTAL
		[USD]	
Tubo cuadrado 20x20.	8	7,41	59,32
Bomba periférica ½ hp.	4	62	248
Lamina tol.	5	18	90
Sensores.	16	9.5	152
Tanques 65 litros.	4	14	56
Tubería cobre tipo M y PVC ½ plg.	13	16,5	214,5
Mano de obra.	4	35	140
Instalación.	1	80	80
		Total	1039,82

- Costo unitario (bruto): USD 259,95
- Costo final cobre tipo M: USD 220
- Costo final PVC: USD 180.

3.7.2 Análisis ambiental

Los datos que entrega la Agencia de Regulación y Control de Electricidad [89], para año 2018 indica un consumo de 28647,15 toneladas equivalentes de petróleo (tep) para la generación de energía eléctrica de la ciudad de Quito, de la misma manera la Empresa Eléctrica Quito ha consumido 27624,01 tep de fuel oil y 649,10 tep de combustible diésel, por lo que una producción de 586,12 GW·h que necesita para la ciudad de Quito, se llega a la conclusión que por cada 1 GW·h se tiene el consumo de 47,08 tep anualmente [89], esto ocasiona una contaminación ambiental alta por el uso de estos combustibles.

Para la implementación de este sistema de calentamiento con tubería PVC y cobre tipo M, así como el uso de botellas PET para cubrir los tubos que generan así el efecto invernadero mediante la energía solar que tiene como finalidad reducir la contaminación ambiental por el uso de las botellas. Para Simbaña et al. [90], indican en su investigación que el consumo de una ducha eléctrica es de 55 kW·h mensualmente, y que la producción anual de CO₂ es de 230 kg y si se utilizara GLP en los hogares la producción de CO₂ es de 1065,6 kg [90], para reducir la producción de CO₂ y la contaminación del medio ambiente se presenta este sistema de calentamiento propuesto en la presente investigación.

En una ducha eléctrica con potencia máxima de 4000 W, utilizando una hora cada día el consumo mensual de energía es de:

$$\text{Consumo}_{\text{ducha}} = \frac{4000W \cdot 30 \text{ días} \cdot 1 \text{ hora}}{1000 \text{ kW} \cdot \text{h}}$$

$$\text{Consumo}_{\text{ducha}} = 120,0 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{mes}}$$

Para Simbaña et al. [90], indican que en el 2014 el factor CO₂ alcanzó un valor de 0,34326 kg de CO₂ por cada 1 kW·h. Por lo una ducha eléctrica genera:

$$120 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{mes}} \cdot \frac{0.34326 \text{ kg de } CO_2}{1 \text{ kW} \cdot \text{h}} \cdot 12 \text{ meses} = 494.3 \text{ kg de } CO_2$$

Para el consumo de la bomba periférica de 0,37 kW se obtiene el consumo de 11,1 kW·h/mes con emisiones de carbono de 45,31 kg de CO₂.

Con los resultados obtenidos, el consumo de energía y la generación de CO₂ para este proyecto obtuvo la reducción en un 90 %, 91,5 % respecto a la emisión de carbono y a un tanque GLP respectivamente y la reutilización de 65 botellas PET por cada colector de la presente investigación con la finalidad de reducir el consumo eléctrico si éstas se implementan en las residencias de la ciudad de Quito. Este proyecto ayudaría a disminuir los daños que se ocasionan a la capa de ozono por las emisiones de CO₂ tanto para la generación de energía como el uso de GPL.

3.7.3 Costo para calentar agua con energía eléctrica

En la ciudad de Quito el valor de una planilla consumo eléctrico es de USD 18, 52 y un promedio de 220 kW·h [91]. La Agencia Nacional de Regulación y Control de Electricidad indica que el consumo de energía eléctrica en zona urbana es de 201 kW·h a 250 kW·h y el valor por cada 1 kW·h es de USD 0,099 [89] ver Anexo 5.

3.7.4 Costo por utilizar ducha eléctrica

Para el cálculo del consumo de energía eléctrica en un hogar el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable indica el valor por cada 1 kW·h [92], es decir que si el consumo de energía es de 120 kW·h/ mes, el valor mensual es de USD 11.18 por utilizar la ducha una hora a la semana con un valor anual de USD 142,56.

3.7.5 Costo de bomba periférica en el colector solar

Utilizando el método para calcular el consumo eléctrico según indica en la página del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable [92], la bomba periférica tiene un consumo mensual de 11,1 kW h/mes con valor unitario de USD 1,098 y un valor anual de USD 13,18.

Comparando el consumo de las duchas eléctricas con la utilización del sistema de calentamiento con botellas PET indica que existe una diferencia entre ellas de USD 129,38, claramente identificando como un ahorro sustancial en el hogar. Esto en un lapso de 2 años, se tiene como ganancia la cantidad de USD 258,76 para el colector PVC.

Ingresos: USD 258,76

Egresos: USD 150

3.8 Análisis Financiero

3.8.1 Valor Actual Neto del proyecto (VAN)

Esto indica la rentabilidad del proyecto a realizarse y este es aceptado cuando el resultado es mayor que cero y se calcula por la siguiente ecuación (27):

$$VAN = (-Inv_0) + \sum_{x=1}^N \frac{F}{(1+i)^x} \quad (27)$$

Donde:

Inv_0 = Inversión o capital inicial del proyecto.

N = El número de los periodos del proyecto.

F = Flujo cada periodo.

i = Tasa de interés.

x = números de periodos.

3.8.2 Tasa Interna de Retorno del proyecto (TIR)

Este valor permite evaluar una inversión en función de los fondos netos que existe para el proyecto, donde la tasa de interés debe ser alta para que el accionista pueda pagar el proyecto sin perder el dinero, esto hace que el VAN antes mencionado sea igual a cero y se calcula mediante la siguiente ecuación (28):

$$VAN = 0 = (-Inv_0) + \sum_{x=1}^N \frac{F}{(1+TIR)^x} \quad (28)$$

3.8.3 Periodo de recuperación para el proyecto (PR)

Es el tiempo en la cual se recupera la inversión realizada al inicio del proyecto, y se calcula mediante la ecuación (29):

$$PR = \frac{|FA|}{FA_{+1}} + NA \quad (29)$$

Donde:

PR= Tiempo de recuperación en años.

FA= Dinero acumulado de NA en dólares.

FA₊₁= Dinero acumulado siguiente de NA en dólares.

NA= Número de años con flujo negativo.

Los resultados obtenidos mediante el análisis financiero que se presentó anteriormente son los siguientes:

VAN: 67,77

TIR: 45,5 %

PR: 2 años

Al calcular los valores con los métodos de análisis económico antes mencionados, tal es el caso con el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), llegando a concluir que el proyecto es aceptable.

CONCLUSIONES

- En este documento se ha desarrollado la investigación sobre diseño y construcción de un sistema de calentamiento de agua activo mediante el uso de PET interconectado con tubería de PVC y cobre tipo M. Se ha investigado diferentes sistemas con similares características y parámetros de funcionamiento de los elementos que lo integran. Se realizó un estudio del PET de acuerdo a investigaciones elaboradas por Lawrie et al. [12], McGuigan et al. [13], Bach et al. [14] y Ozgen et al. [17]. Se determinó que el PET es un excelente material para el calentamiento de agua sanitaria debido al efecto invernadero y cómo aprovecha la energía solar con el fin de reducir el consumo de gas licuado de petróleo y otros combustibles fósiles con los que se puede calentar agua sanitaria. Según Nace [1], a nivel mundial, los humanos compran un millón de botellas de plástico por minuto y el 91 % de todo el plástico no se recicla. El 82 % de familias utilizan agua caliente sanitaria de las cuales un 65 % utilizan sistemas con GLP. Los sistemas asistidos por energía solar pueden llegar a cubrir el 44 % de esta demanda [72].
- Se diseñó el sistema de calentamiento de agua activo de acuerdo a la Norma INEN 2507 [93], requiriendo 50 litros diarios de agua caliente a 50 °C. La capacidad del tanque seleccionado fue de 65 litros, agua como fluido de trabajo, una bomba periférica de 0,37 kW, tuberías de cobre tipo M y PVC con diámetro nominal de 0,0127 m (1/2 plg) para ambos materiales, botellas PET recicladas de 1,35 litros y 3 litros, sensores de temperatura y accesorios. El diseño del colector tuvo como base la investigación realizada por Ozgen et al. [17], en cuanto a la forma de serpentín y disposición de las botellas PET. De forma experimental, se determinó el largo de las tuberías en 15 m con el fin de provocar un efecto invernadero. La tubería está dispuesta por el centro de las botellas PET. Las pérdidas de calor se calcularon obteniendo los números de Reynolds, Prandtl, Grashof y Rayleigh mediante las ecuaciones 12, 14, 20 y 21, respectivamente. Según la ecuación 22, del número de Nusselt se pudo obtener el coeficiente convectivo de transferencia de calor y así calcular las pérdidas por convección según la ley de enfriamiento de Newton (ecuación 7). Adicionalmente, se pudo

calcular las pérdidas de calor por radiación aplicando la ley de Stefan-Boltzmann (ecuación 26).

- Se construyeron 4 sistemas de calentamiento de agua activo con colectores solares y diferentes elementos para realizar un análisis comparativo de pruebas de funcionamiento. Se obtuvieron valores de temperaturas por cada colector en 5 pruebas de funcionamiento seleccionadas durante 5 semanas, iniciando las 9:00 y finalizando cada prueba a las 15:00. Los valores de radiación solar promedio fueron de $495,26 \text{ W/m}^2$ y velocidad del viento promedio $1,85 \text{ m/s}$. Durante las 5 pruebas, se determinó que el colector con botellas de 3 litros y tubería de cobre tipo M es el que genera mayor rendimiento para el calentamiento de agua sanitaria, alcanzando una temperatura máxima de $51,5 \text{ }^\circ\text{C}$, en promedio, con una temperatura inicial de $18,74 \text{ }^\circ\text{C}$. Al comparar los valores de temperatura final del agua de los otros colectores, se presentaron temperaturas inferiores entre 3 y $4 \text{ }^\circ\text{C}$ respecto a la temperatura máxima alcanzada por el primer colector.
- Además, las investigaciones de Lenz et al. [18], que evalúa un sistema de calentamiento de agua construido con materiales comúnmente utilizados en las construcciones de casas, tubo PVC y botellas PET. El colector probado es una placa plana de 1 m^2 , con lecturas y recolección cada 5 minutos desde las 10:00 a 16:00 horas, obteniendo así valores máximos en el colector con tubos PVC de $38,9 \text{ }^\circ\text{C}$ obteniendo así un $16,7 \%$ de diferencia con el calentador de PVC con botellas de 3 litros es decir una temperatura de $46,9 \text{ }^\circ\text{C}$ y un $13,56 \%$ para el calentador de PVC con botellas de 1 litro. Mientras que para Ozgen et al. [17], indica que las temperaturas generadas por el colector son de $39,87 \text{ }^\circ\text{C}$ donde se evidencia una diferencia del $14,63 \%$ con respecto al colector con botellas de 3 litros y un $11,40 \%$ respecto al calentador de PVC con botellas de 1 litro es decir $46,7$ y $45 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente. Para la temperatura del colector de cobre con botellas de 1 litro se obtiene un incremento de $18,96 \%$ y un $30,04 \%$ en el colector de cobre con botellas de 3 litros a comparación con los resultados de Lenz et al. [18]. Y para la investigación de Ozgen et al. [17], existe un $16,94 \%$ y $28,29 \%$ de diferencia en el incremento de la temperatura del agua en los colectores.

- El factor económico se concluye que es viable ya que el costo por un calentador de 60 litros con un panel de 1,32 m² es de 180 dólares americanos, siendo 91% más barato que un colector solar termosifón. Este colector solar con botellas PET es de fácil fabricación e instalación y lo más importante contribuir al reciclaje y disminuir la contaminación del medio ambiente.

RECOMENDACIONES

- Para una futura investigación de colectores solares con un sistema de recirculación se recomienda utilizar un controlador electromecánico con el fin de evitar que la bomba periférica permanezca encendida.
- Para que los colectores sean mucho más amigables con el ambiente, se recomienda la implementación de paneles solares fotovoltaicos, con el fin de evitar gastos económicos.
- Realizar pruebas en diferentes barrios de Quito, para corroborar la eficiencia de los colectores que se presenta en esta investigación.
- Utilizar aislante de fibra de vidrio para cubrir el tanque de almacenamiento y evitar pérdidas de calor por lo tanto aumentar la eficiencia del colector.
- Colocar el colector con un ángulo de inclinación de 30 grados respecto a la horizontal, esto para que sea mas eficiente el colector solar con botellas PET y tubo de cobre tipo M.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Nace, «Forves,» Forves Media LLC, 26 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2017/07/26/million-plastic-bottles-minute-91-not-recycled/#39bc525e292c>. [Último acceso: 14 Diciembre 2018].
- [2] M. Mehrpooya, M. Khalili y M. Mehdi , «Model development and energy and exergy analysis of the biomass gasification process (Based on the various biomass sources),» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 91, pp. 869-887, 2018.
- [3] N. Mehrdokht y M. Nader, «Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using ASPEN PLUS,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 32, pp. 1245-1254, 2008.
- [4] A. Kruse y A. Gawlik, «Biomass conversion in water at 330-410 °C and 30-50 MPa. Identification of key compounds for indicating different chemical reaction pathways,» *Scopus*, vol. 42, n° 2, pp. 267-279, 2003.
- [5] S. Yang, X. Yue, X. Liu y Y. Tong, «Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles,» *Construction and Building Materials*, vol. 24, n° 1, pp. 444-453, 2015.
- [6] D. Mello, S. H. Pezzi y S. C. Amico, «The effect of post-consumer PET particles on the performance of flexible polyurethane foams,» *Polymer Testing*, vol. 28, n° 7, pp. 702-708, 2009.
- [7] R. Saxena, S. Siddique, T. Gupta, R. K. Sharma y S. Chaudhary, «Impact resistance and energy absorption capacity of concrete containing plastic waste,» *Construction and Building Materials*, vol. 176, n° 10, pp. 415-421, 2018.
- [8] U. Rosidin y A. Suyatna , «Teachers and Students Knowledge about Global Warming: a Study in Smoke Disaster Area of Indonesia,» *International journal of environmental & science education*, vol. 12, n° 4, pp. 777-785, 2017.
- [9] A. Mahmood, T. Hussain y E. AliSalman, «Global warming awareness among the University of Bahrain science students,» *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, vol. 22, n° 1, pp. 9-16, 2017.
- [10] S. A. Mashail , «Residential Solar Panels and Their Impact on the Reduction of Carbon Emissions,» 2013. [En línea]. Available: https://nature.berkeley.edu/classes/es196/projects/2013final/ArifM_2013.pdf.

[Último acceso: 6 Julio 2018].

- [11] UNICEF, «Drinking water : equity, safety and sustainability : thematic report on drinking water,» UNICEF, Newyork, 2013.
- [12] K. Lawrie, A. Mills, M. Figueredo , M. Manzano, S. Gutiérrez y M. Saladin, «UV dosimetry for solar water disinfection (SODIS) carried out in different plastic bottles and bags,» *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 208, pp. 608-615, 2015.
- [13] K. McGuigan, R. Conroy, H. Mosler y M. du Preez, «Solar water disinfection (SODIS): A review from bench-top to roof-top(,» *Journal of Hazardous Materials*, Vols. %1 de %2235-236, pp. 29-46, 2012.
- [14] Bach, C., Dauchy, X., Severin, I., Munoz, J. F., Etienne, S., & Chagnon, M. C., «Effect of sunlight exposure on the release of intentionally and/or non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: Chemical analysis and in vitro toxicity,» *Food chemistry*, vol. 162, pp. 63-71, 2014.
- [15] Marques, A. R., Gomes, F. D. C. O., Fonseca, M. P. P., Parreira, J. S., & Santos, V. P., «Efficiency of PET reactors in solar water disinfection for use in southeastern Brazil.,» *Solar Energy*, vol. 87, pp. 158-167, 2013.
- [16] L. Wong, K. Mui y Y. Guan, «Shower water heat recovery in high-rise 459 residential buildings of Hong Kong,» vol. 87, nº 2, pp. 703-709, Febrero 2010.
- [17] F. Ozgen, M. Esen y H. Esen, «Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminum cans.,» *Renewable Energy*, vol. 34, nº 11, pp. 2391-2398, Noviembre 2009.
- [18] A. M. Lenz, G. Colle, S. N. Melegari, M. Prior, C. E. C. Nogueira, R. F. d. Santos, L. Friedrish y D. Secco, «Evaluation of three systems of solar thermal panel using low cost material, tested in Brazil,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 167, pp. 201-207, 20 Noviembre 2017.
- [19] A. M. Lenz, S. N. M. d. Souza, C. E. C. Nogueira, F. Gurgacz, M. Prior y F. A. Pazuch, «Analysis of absorbed energy and efficiency of a solar flat plate collector,» *Acta Scientiarum Technology*, vol. 39, nº 3, 2017.
- [20] A. Buonomano, F. Calise, M. Denticed'Accadia, GabrieleFerruzzi, SabrinaFrascogna, AdolfoPalombo, RobertoRussoc y MarcoScarpellino, «Experimental analysis and dynamic simulation of a novel high-temperature solar cooling system,» *Energy Conversion and Management*, vol. 109, pp. 19-39, 1

Febrero 2016.

- [21] V. S. Ortin, J. C. S. Rodríguez, G. P. Izquierdo, C. H. Rodríguez, P. U. Falcón, R. G. Déniz, M. D. Torres, D. C. Pérez, G. M. Rodríguez y J. P. Fariña, Energías renovables y eficiencia energética, 1 edición ed., vol. I, Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. , 2008.
- [22] W. J. Tirapegui, Energías Renovables No Convencionales, Primera Edición ed., Santa Rosa, Santiago de Chile: Endesa Chile, 2006.
- [23] O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, T. Zwickel y C. v. Stechow, «Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático,» Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2011.
- [24] S. Kristin, S. Patrick, M. Susanne, K. Patrick, E. Gerrit, H. Steffen, S. Timm y Z. Christoph, «Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático,» *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 2011.
- [25] M. Chávez, «Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,» 15 Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2478>. [Último acceso: 6 Noviembre 2018].
- [26] R. Foster, M. Ghassemi y A. Cota, Solar Energy: Renewable Energy and the Environment, Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2010.
- [27] D. Quinteros , «Estudio de la eficiencia del sistema solar térmico en el barrio San Valentín, comuna de lo Prado.,» Septiembre 2012. [En línea]. Available: http://fisica.usach.cl/sites/fisica/files/tesis_denisse_quinteros_massardo.pdf. [Último acceso: 5 Noviembre 2018].
- [28] G. Delgado y M. Orellana, «Universidad Politécnica Salesiana,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>. [Último acceso: 6 Noviembre 2018].
- [29] S. Arla, M. Tapia y J. Guasumba, «Validación del Recurso Solar en el Ecuador para Aplicaciones de Media y Alta Temperatura,» *Innova*, vol. 2, n° 7, pp. 34-35, 2017.
- [30] BP World Energy, «BP World Energy,» Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical->

- review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf. [Último acceso: 7 Noviembre 2018].
- [31] J. Martínez y A. Fernández, Cambio climático: una visión desde México, Primera edición ed., Coyoacán: Instituto Nacional de Ecología. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales , 2004.
- [32] Y. Wang, Y. Zhang, H. Song, Y. Wang, T. Deng y X. Hou, «inc-catalyzed ester bond cleavage: Chemical degradation of polyethylene terephthalate,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, pp. 1469-1475, 2018.
- [33] K. Gopalakrishna y N. Reddy , «Regulations on Recycling PET Bottles,» *William Andrew Applied science publishers*, pp. 23-35, 2019.
- [34] N. Saikia y J. De Brito, «Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review,» *Construction and Building Materials*, vol. 34, pp. 385-401, 2012.
- [35] C. Chirayil, R. Mishra y S. Thomas, «Materials Recovery, Direct Reuse and Incineration of PET Bottles,» *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*, pp. 37-60, 2019.
- [36] D. Barsky, R. Sala, M. Leticia y I. Moyano, «Use and re-use: Re-knapped flakes from the Mode 1 site of Fuente Nueva 3 (Orce, Andalucía, Spain),» *Quaternary International*, vol. 361, pp. 21-33, 2015.
- [37] The Association of Plastic Recyclers, NAPCORP, «Plastics Recycling,» 31 Octubre 2017. [En línea]. Available: https://www.plasticsrecycling.org/images/pdf/resources/reports/NAPCOR-APR_2016RateReport_FINAL.pdf. [Último acceso: 9 Noviembre 2018].
- [38] R. Zambrano , «El Universo,» 7 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/07/nota/6986588/como-se-recicla-botella-plastico-pet-ecuador>. [Último acceso: 9 Noviembre 2018].
- [39] A. C. Frías, I. I. Lema y A. G. García, La situación de los envases de plástico en México, *Gaceta Ecologica* , 2003.
- [40] J. G. B. Derraik, The Pollution of the Marine Environment by Plastic Debris: A Review.”, *Marine Pollution Bulletin*, 2002.
- [41] U. (. N. E. Programmer), «Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change,» *United Nations Environment Programme*.

- [42] E. A. Z. Palma, «Análisis del impacto económico ambiental en las industrias plásticas del Ecuador: Diseño de una planta reprocesadora de residuos plásticos PET que impulse el consumo local.» Guayaquil, 2013.
- [43] Xinhua, «Ecuador llama a reducir consumo de plástico en Día Mundial de Océanos,» 09 Junio 2018.
- [44] C. J. Chirayil, R. K. Mishra y S. Thomas, «Materials Recovery, Direct Reuse and Incineration of PET Bottles,» *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*, pp. 37-60, 2019.
- [45] K. Pivnenko, M. Eriksen y J. Martín-Fernandez, «Recycling of plastic waste: presence of phthalates in plastics from households and industry,» *Waste Manag*, n° 56, pp. 44-56, 2019.
- [46] R. Thompson, C. Moore, F. v. Saal y S. Swan, «Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends, Philos.,» pp. 2153-2166, 2009.
- [47] I. Hussain y H. Hamid, «Plastics in agriculture,» pp. 185-209, 2005.
- [48] N. Kateřina, K. Šeps y A. Henri, «Experimental development of a plastic bottle usable as a construction building block created out of polyethylene terephthalate: Testing PET(b)rick 1.0,» *Journal of Building Engineering*, vol. 12, pp. 239-247, 12 Julio 2017.
- [49] C. J., «Mecanismos de transferencia de calor,» 2013.
- [50] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, *Transferencia de Calor y Masa*, Mexico, D.F: McGraw-Hill\Interamericana Editores, S.A., 2011.
- [51] Arab, Soltanieh y Shafii, *Experimental investigation of extra-long pulsating heat pipe application in solar water heaters*, vol. 42, ScienceDirect, 2012, pp. 6-15.
- [52] L. M. Jiji, *Heat Convection*, New York: Springer Berlin Heidelberg New York, 2006.
- [53] T. Rodgers, «The University of Manchester,» 2013. [En línea]. Available: https://personalpages.manchester.ac.uk/staff/tom.rodgers/documents/HT_Notes.pdf. [Último acceso: 13 Diciembre 2018].
- [54] H. Bhowmik y R. Amin, «Efficiency improvement of flat plate solar collector using reflector,» *Energy Reports*, vol. 3, n° 1, pp. 119-223, 2017.
- [55] P. Prasad, H. Byregowda y P. Gangavati, «Experiment analysis of flat plate collector

- and comparison of performance with tracking collector,» *Research Gate*, vol. 40, nº 1, pp. 144-155, 2010.
- [56] G. Martínez, A. Rodríguez, L. Fuentes y M. Silva, «Solar thermal networks operating with evacuated-tube collectors,» *Energy*, vol. 146, nº 1, pp. 26-33, 2018.
- [57] M. Sabiha, R. Saidur, S. Mekhilef y O. Mahian, «Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors,» *Scopus*, vol. 51, nº 27, pp. 1038-1054, 2015.
- [58] E. Ramos , C. Arancibia y M. Escobar, «Uso de colectores solares en el sector industrial,» *Red de Energía Solar*, vol. 1, nº 1, pp. 1-9, 2016.
- [59] F. Awaja y D. Pavel, «Recycling of PET,» *European Polymer Journal*, vol. 41, nº 2, p. 1453–1477, 2005.
- [60] M. Yates y C. Barlow, «Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers – A critical review,» *Resources, Conservation and Recycling*, nº 78, pp. 54-66, 2013.
- [61] T. Hottle, M. Bilec y A. Landis, «Sustainability assessments of bio-based polymers,» *Polymer Degradation and Stability*, nº 98, p. 1898*1907, 2013.
- [62] energonalia, «Energía solar termica,» *energonalia.com*, 2018.
- [63] Innovar, «Sistemas Solares,» 2018.
- [64] J. d. I. T. V. López, «Guía para construcción de un calentador solar de botellas de plástico,» *UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR*, 2015.
- [65] G. Oliveux, L. Dandy y G. Leeke, «Current status of recycling of fibre reinforced polymers: review of technologies, reuse and resulting properties,» *Progress in Materials Science*, 2015.
- [66] J. Islam, S. Meherier y A. Islam, «Effects of Waste PET as Coarse Aggregate on the Fresh and Harden Properties of Concrete.,» *Construction and Building Materials* , pp. 946-951, 2016.
- [67] M. Gürü, M. Çubuk, D. Arslan, S. Farzaniyan y I. Bilici, «An approach to the usage of polyethylene terephthalate (PET) waste as roadway pavement material,» *Journal of Hazardous Materials* 2, nº 279, pp. 302-310, 2014.
- [68] K. Nováková y H. Achten, «150000 PET Bottles. A Book of PET Bottles in Architecture.,» *Czech Technical University in Prague*, 2014.
- [69] G. López, J. Mantilla y B. Poveda, «Evaluación de un calentador solar de agua

- fabricado con tubería PVC en serie,» *Tecnura*, vol. 16, pp. 120-128, 2012.
- [70] T. Yassen, N. Mokhlif y M. Eleiwi, «Performance investigation of an integrated solar water heater with corrugated absorber surface for domestic use,» *Renewable Energy*, vol. 138, pp. 852-860, 2019.
- [71] P. Baboo, «Principles of Mass Flow meters,» *ResearchGate*, 2015.
- [72] J. Calle y Ó. Tinoco, «Obtención de ACS con energía solar en el cantón Cuenca y análisis de la contaminación ambiental,» *INGENIUS*, vol. 19, 2018.
- [73] J. Hun, K.-U. Cha y S.-J. Yook, «Three-dimensional inverse heat conduction modeling of a multi-layered hollow cylindrical tube using input estimation algorithm and thermal resistance network,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 106, pp. 793-803, 2017.
- [74] L. Chen, Y. Li, F. Shen y R. Xue, «General Temperature Computational Method of Linear Heat Conduction Multilayer Cylinder,» *Journal of Iron and Steel Research, International*, vol. 17, n° 1, pp. 33-37, 2010.
- [75] B. Karlekar y R. Desmond, *Transferencia de calor*, México D.F: Nueva Editorial Interamericana S.A, 1985.
- [76] Y. Bai y Q. Bai, «Heat Transfer and Thermal Insulation,» *Subsea Engineering Handbook*, vol. 2, pp. 363-408, 2019.
- [77] M. Kirkham, «Chapter 25 - Solar Radiation, Black Bodies, Heat Budget, and Radiation Balance,» de *Principles of Soil and Plant Water Relations*, Manhattan, Elsevier, 2014, pp. 453-472.
- [78] D. Domairry, Y. Sabzehmeidani y A. Sedighiamiri, «Chapter 3 - Radiation Heat Transfer,» de *Nonlinear Systems in Heat Transfer Mathematical Modeling and Analytical Methods*, Elsevier, 2018, pp. 105-151.
- [79] D. Wang, Q. Gao, Y. Liu, Y. Wang, Y. Chen, Y. Liu y J. Liu, «Experimental study on heating characteristics and parameter optimization of transpired solar collectors,» *Applied Energy*, vol. 238, pp. 534-546, 2019.
- [80] D. Srinivasacharya y K. Hima Bindu, «Entropy generation due to micropolar fluid flow between concentric cylinders with slip and convective boundary conditions,» *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 9, n° 2, pp. 245-255, 2018.
- [81] M. Gram y J. Adler, «Proposing a normalized Biot number: For simpler

- determination of Fourier exponents and for evaluating the sensitivity of the Biot number,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 86, pp. 214-221, 2015.
- [82] F. Kreith, R. M. Manglik y M. S. Bohn, *Principios de Transferencia de Calor*, México D.F.: Cengage Learning Editores S.A, 2012.
- [83] M. Behshad y M. Keshavarz, «Experimental study of internal forced convection of ferrofluid flow in non-magnetizable/magnetizable porous media,» *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 90, pp. 441-450, 2018.
- [84] T. Miin, C. Sheng y H. Wang, «Nusselt number and friction factor correlations for laminar flow in parallelogram serpentine micro heat exchangers,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 143, pp. 871-882, 2018.
- [85] N. Ali, L. Animasaun, O. Ibraheem, A. Babatunde, N. Sandeep y I. Pop, «Scrutinization of the effects of Grashof number on the flow of different fluids driven by convection over various surfaces,» *Journal of Molecular Liquids*, vol. 249, pp. 980-990, 2018.
- [86] C. Hapenciuc, I. Negut, T. Borca y I. Mihailescu, «A steady-state hot-wire method for thermal conductivity measurements of fluids,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 134, pp. 993-1002, 2019.
- [87] Full Aguas, «Full Aguas ingeniería de proyectos,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.fullaguas.cl/wp-content/uploads/2016/02/FICHA-AP-PERIF--RICA.pdf>. [Último acceso: 4 Marzo 2019].
- [88] E. Revelo y R. Gutierrez, «Diseño y construcción de un banco de pruebas termodinámicos para un proceso isobárico, para el laboratorio de termodinámica de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz de la UIDE,» [En línea]. Available: <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/189/1/T-UIDE-0125.pdf>. [Último acceso: 01 Julio 2019].
- [89] A. d. R. y. C. d. Electricidad, «Regulación Eléctrica,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>. [Último acceso: 28 6 2019].
- [90] A. Simbaña, V. Toaquiza y W. Quitiaquez, «Diseño y construcción de una boma de calor asistida por energía solar utilizada para el calentamiento de agua con una capacidad de 60l/día,» Enero 2018. [En línea]. Available:

- <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14974>. [Último acceso: 7 Junio 2018].
- [91] INEC, «Instituto Nacional de Estadística y Censos,» Junio 2012. [En línea]. Available: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Ambientales2012junio/Presentacio_Junio%202012.pdf. [Último acceso: 7 7 2018].
- [92] Centrosur, «Ministerio de electricidad y energía renovable,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.centrosur.gob.ec/calcular-consumo>. [Último acceso: 7 7 2018].
- [93] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «NTE INEN 2 507 - Rendimiento térmico de colectores solares en sistemas de calentamiento de agua para uso sanitario. requisitos.,» 2009.
- [94] I. Maclaine-cross y E. Leonardi, «Comparative Performance of Hydrocarbon Refrigerants,» *School of Mechanical and Manufacturing Engineering The University of New South Wales*.

ANEXOS

Anexo 1. Proceso de construcción



.Corte y sellado de las botellas PET.



Preparación de accesorios PVC.



Proceso de Pintado de accesorios PVC.



Traspaso de tubería PVC pintada por botellas PET.



Tubería PVC recubierta con PET.



Tubería de cobre tipo M recubierta con PET.



Montaje de las tuberías en la estructura.



Tubería de cobre tipo M montada en la estructura metálica.



Instalación del tanque 65 litros.



Conexión a la red pública de agua.



Boya, control de llenado.



. Conexión bomba periférica.



Conexión de tubos de recirculación al tanque.



Instalación de instrumentos de medida en la tubería de cobre tipo M.



Colectores terminados.



Los 4 colectores terminados.



Toma de datos tubería PVC.



Toma de datos tubería de cobre tipo M.



Pantalla de la estación climatológica.

Anexo 2. Radiación global anual

Análisis comparativo de resultados de radiación ($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$) por cada día en la región norte de Ecuador

RADIACIÓN GLOBAL MEDIA PARA SUPERFICIE HORIZONTAL NORTE ECUATORIANA					
		Observaciones en superficie	Observaciones satélite	Estaciones programa informático	Estaciones modelo matemático
PARROQUIA	PROVINCIA	Estaciones Met. OCP	NASA	CENSOLAR	ANGSTROM- PAGE
Nueva Loja	Sucumbíos	3,42	3,76	3,64	4,92
Lumbaqui	Sucumbíos	3,65	4,24	3,64	4,97
El Reventador	Sucumbíos	2,79	3,88	4,8	4,97
El Reventador	Sucumbíos	2,43	3,88	4,99	4,97
Gonzalo Díaz de Pineda	Napo	3,35	3,88	3,44	4,97
Santa Rosa	Napo	3,32	3,88	3,44	4,31
San Francisco	Napo	3,47	3,88	4,01	4,31
Papallacta	Napo	3,46	4,25	4,01	4,31
Yaruquí	Pichincha	4,61	4,25	4,44	4,31
Nono	Pichincha	2,99	4,25	4,99	4,31
Pedro Vicente	Pichincha	2,54	3,96	3,64	4,97
Puerto Quito	Pichincha	3,02	4,2	4,78	4,97
Rosa Zarate	Esmeraldas	3,2	4,2	4,61	4,97
Viche	Esmeraldas	3,22	4,2	4,61	4,97
Vuelta Larga	Esmeraldas	3,21	4,2	3,86	4,97

Anexo 3. Datos obtenidos

Datos tomados el día 1.

Día 1	1litro PVC				1litro COBRE TIPO M				3 LITROS PVC				3LITROS COBRE TIPO M				Q [W/m ²]	viento
	t1	t2	t3	t4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4		
900	14,2	14,2	14,3	14,2	14,2	14,3	14,2	14,1	14,2	14,3	14,2	14,3	15,1	15,3	15,4	15,6	384,2	2,2
910	15,2	15,8	15,9	15,8	14,5	14,8	14,8	14,6	18	17,4	18,2	18,6	15,5	15,3	15,3	15,9	666,6	1,1
920	15,5	15,8	16,5	16,9	14,8	15,2	15,2	15,5	20,1	19,6	20,5	21,1	15,8	15,7	15,9	15,9	564,3	1,1
930	19,6	19,6	19,7	18,1	15,2	14,8	15,5	13,9	22,5	16,1	16,9	16,4	15,1	15,3	15,4	15,6	700,1	3,2
940	22,1	22,6	23,3	23,6	21	21,1	20,6	17,3	21,6	21,6	22,6	23,2	15,9	16,1	16,1	16,2	689,2	2,2
950	26,6	23,1	23,6	23,8	21,7	20,2	20,9	17,8	22,9	22,1	22,7	22,9	15,7	15,8	15,7	15,9	656,7	3,3
1000	18,2	17,8	18,1	18,3	16,7	17	20,8	20,9	24,5	23,8	24,5	24,8	15,7	15,9	16,1	16,1	795,6	4,2
1010	22,6	22,5	22,7	22,9	16,9	17	17,5	17,4	25,7	24,9	25,5	25,6	15,9	15,8	15,9	16	578,2	1,1
1020	23,1	23,1	23,5	23,7	17,8	17,8	18,5	18,7	26,6	25,7	26,1	26,1	15,1	15,3	15,4	15,5	563,4	1,1
1030	24,6	24,3	24,1	25,3	19,2	19,2	19,7	19,6	27,8	26,8	27,2	27,1	16,3	17	17,1	17,1	248,2	1,1
1040	26,1	25,6	26	26,3	20,6	20,5	20,8	20,6	28,5	27,5	27,8	27,8	18,5	18,6	18,8	18,7	427,5	1,1
1050	26,8	27,3	27,8	28,3	21,3	21,5	22	21,8	26,5	25,3	25,6	25,4	18,4	19,9	19,9	20	306,9	4,4
1100	28,3	28,3	28,6	29	22,1	22,7	22,5	22,3	26,9	25,8	26	25,8	19,7	21,7	21,7	21,8	513,6	1,1
1110	29,7	29,5	29,8	30	23,9	24	24,5	24,7	27,1	26,3	26,1	26,1	20,8	23,6	23,5	23,6	550,8	1,1
1120	29,9	29,6	29,7	29,8	24,2	24,3	24,3	24,3	27,8	28,3	28,1	27,3	23,8	24,1	24,2	24,7	556,9	2,2
1130	31,1	30,5	30,5	30,3	25,3	25,3	25,5	25,3	28,6	29	29,2	29	25,1	25,3	25,3	25,3	560,6	1,1
1140	31,7	31,1	31,1	30,9	25,7	25,7	26	25,8	29,8	30	30,3	29,5	25,5	25,7	25,6	25,6	566,2	2,2
1150	32,4	31,8	32	32	26,6	26,6	26,9	26,8	29,7	29,8	29,4	29,6	26,8	27,1	27	27,1	570,1	1,1
1200	34,2	34	34,5	34,5	27,3	27,3	27,5	27,5	29,3	29,5	29,7	29,4	27,6	27,8	27,8	27,9	577,4	1,1
1210	34,1	34,1	34,2	34	28,2	28,5	28,3	28	28,5	29	29,3	28,7	28,3	28,8	28,6	28,3	664,2	2,2
1220	34,6	34,2	34,7	34,2	34	34,3	34,6	28	28,3	28,1	28,2	28	29	29,4	29,6	29	528,3	5,5
1230	35	35,1	35,1	35,2	34,9	35,1	35,5	29,1	29,4	29,6	29,9	28,2	30,4	30,4	30,6	29,3	526,2	4,4
1240	35,8	35,4	35,7	35,8	35,1	35,1	35,1	28,6	29	29,3	29,3	28,7	30,9	31,3	31,4	31,2	667,2	6,7
1250	36,2	36,4	36,5	36,3	35,8	36,1	36,3	29,1	29,4	29,5	30	29,4	32,1	32,5	32,8	32,5	785,1	1,1
1300	35,9	36,6	36,7	36,5	37,1	37,6	37,7	29,9	30,2	30,7	31,2	30,8	32,7	32,8	32,8	32,9	537,5	1,1
1310	36,6	36,7	37,2	37,8	38,3	38,8	38,5	30,5	30,9	30,9	31,6	30	33,5	33,9	34,1	34	642,3	1,1
1320	38,9	39,2	39,5	39,5	39,3	39,4	39,5	30,8	31,7	31,8	31,9	32,7	34,1	34,3	34,5	34,3	724,8	1,1
1330	40,3	38,7	38,1	36,8	33,3	33,2	33,3	33,1	32,1	32,5	32,7	32,9	34,6	34,8	34,8	34,8	384,2	2,2
1340	40	37,9	37,3	35,5	37	32,9	33,1	32,3	32,5	32,9	32,9	32,6	33,7	34,1	34,1	33,5	666,6	2,2
1350	38,3	38,5	38,5	38,4	38,6	33,1	33,2	33,1	33,6	34,2	34,7	33,2	34,2	34,4	34,4	34,1	564,3	1,1
1400	39,1	35,5	35,8	34,9	32,9	33	32,9	32,9	34,8	35,7	35,7	33	34,4	34,6	34,6	34,7	700,1	3,3
1410	40,9	40,9	41,6	33,9	34	33,8	34,1	34,2	35,2	35,3	35,5	34,5	35,6	35,8	35,8	35,9	689,2	4,4
1420	42,6	42,3	43,3	43,1	34,9	34,9	34,8	35,1	35,9	36,5	36,8	35,8	36,6	36,9	36,8	36,9	656,7	1,1
1430	42,8	43,3	44,8	44,6	35,5	35,8	36,1	36,3	36,5	37	37,2	36,1	37,5	37,8	37,8	37,9	795,6	1,1
1440	43,9	43,3	43,9	44,9	36,4	36,4	36,2	36,4	37,7	37,9	38,1	36,8	38,1	38,3	38,3	38,4	578,2	0
1450	44,4	43,1	42,3	40,2	36,9	37	36,8	37,1	38,3	38,5	38,9	38,4	38,8	39,1	39	39,1	556,9	3,3
1500	46,2	44,3	43,8	43,1	37,5	37,5	37,4	37,6	40,1	41	41,6	41,5	39,4	39,6	39,6	39,7	560,6	2,2
1510	47,3	45,2	44,1	42,3	37,9	37,9	37,7	37,9	40,3	40,9	41,3	40,3	39,9	40	40	40,1	566,2	1,1
1520	50,5	45,1	43,1	41,7	38,3	38,3	38	38,3	41,8	42	42,2	42,5	40,3	40,5	40,4	40,5	570,1	2,2
1530	51,1	44,2	43,5	43,4	38,6	38,6	38,3	38,6	42	42,3	41,4	41,7	40,6	40,8	40,7	40,8	577,4	4,4
1540	50,1	47,3	47,3	47	38,2	38,8	38,2	38	43,6	43,9	44,2	44,6	42,8	42,6	42,6	43,8	664,2	3,3
1600	48,3	48,3	48,3	48,1	37,4	37,3	37,1	37,3	43,8	44,2	44,3	44,8	45,3	45,8	45,8	46,3	528,3	0
1610	48	47,8	47,7	47,1	37,2	37,2	37	37,1	45,1	45,5	45,7	45,9	46,4	47,1	47,4	48	526,2	0
1620	47,9	47,5	47,5	47	36,9	36,9	36,8	36,9	46,3	46,6	46,5	46,7	48,1	48,3	48,3	48,1	667,2	2,3
1630	47,3	47,5	47,6	47,5	37,4	37,9	37,8	37,6	46,7	46,5	46,9	47,3	47,9	47,5	47,5	47,8	785,1	2,2
1640	47,6	47,2	47,3	47,5	37,8	37,4	37,4	37,2	48,3	48,7	48,6	48,8	48,3	48,4	48,2	48	537,5	1,1
1650	47,9	47,3	47,6	47,3	37	37,2	37,2	37	47,9	48,1	48,5	48,4	48,5	48,2	47,8	47,9	642,3	0
1700	47,7	47,3	47,3	47,2	37,2	37,5	37,4	37,1	47,1	47,8	47,7	47,4	48,1	48	48,2	48,2	724,8	2,2

Datos tomados el día 2.

Día 2	11 pvc				11 cobre tipo M				31 pvc				31 cobre tipo M				Q [W/m ²]	viento
	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4		
900	16,4	16,3	16,1	16	16,3	16,4	16,4	16,2	16	16,3	16,3	15,8	16,3	16,4	16,7	16,4	186,3	1,1
910	17,3	17,4	17,4	16,5	17,1	17,5	17,5	17,3	16,3	16,4	16,4	16	17	17,5	17,5	17	150,9	1,1
920	17,2	17,8	17,4	17,3	17	17,7	17,8	17,8	16,8	16,5	16,5	16,6	17,8	18	18,3	18,3	176,8	1,1
930	18	18,9	18,8	18,8	18,3	18,5	18,9	19,2	17,3	17,5	17,3	17,3	18,4	18,5	18,5	18,6	211,7	4,4
940	19,3	19,8	19,8	19,5	19,5	19,9	20,2	20,6	17,8	17,5	17,8	18	20	20,3	20,9	21,3	255	1,1
950	21,7	21,9	21,8	21,9	21,4	21,6	22	21,7	19,1	19,2	20,1	20,4	22,9	22,9	23	23	598	1,1
1000	23,1	23,3	23,1	23,1	22,6	22,8	23,3	22,9	20,4	20,5	21,3	21,6	24,2	24,2	24,3	24,3	249,5	1,1
1010	25,1	25,3	25,2	25,1	24,5	24,4	24,7	24,8	22,5	22,6	23,5	23,8	26,3	26,3	26,5	26,5	291,8	1,1
1020	26,3	26,4	26,3	26,3	25,6	25,8	26	25,9	23,7	23,9	24,6	25	27,6	27,6	27,7	27,7	260,6	1,1
1030	27	27,1	27,5	27,4	26,3	26,8	26,7	26,7	24,6	25,4	25,9	26,8	26,9	26,9	27,2	27,5	353,2	1,1
1040	27,4	27,6	27,6	27,5	26,5	27	27,3	27	26,5	26,5	26,6	27	28,3	28,3	28,4	28,6	568,5	3,2
1050	28,6	28,3	28,5	28,6	29,3	28,3	28,8	28,8	27,8	28,1	28,3	28,3	29,5	29,7	30,1	30,3	248,2	1,1
1100	30,5	30,1	30,6	30,6	29,5	29,8	29,9	29,9	28,3	28,5	29,1	29,6	32,1	31,9	32,1	32,1	427,5	1,1
1110	31,1	31,3	31,2	31,1	30,1	30,3	30,5	30,5	29	29,1	29,8	30,2	32,6	32,6	32,7	32,8	564,3	1,1
1120	32,4	32,6	32,5	32,5	31,3	31,6	31,6	31,7	30,6	30,7	31,4	31,8	34,1	34,1	34,1	34,2	550,8	1,1
1130	33,5	33,6	33,5	33,4	32,3	32,7	32,7	32,7	31,7	31,8	31,9	32,5	35,3	35,3	35,4	35,5	556,9	1,1
1140	34,6	34,8	34,6	34,6	33,5	33,7	33,5	33,8	33	33,1	33,8	34,3	36,5	36,5	36,5	36,5	560,6	1,1
1150	34,9	35	35	34,9	33,8	34	34,1	34,1	33,4	33,5	34,2	34,6	36,8	36,8	36,8	36,9	566,2	2,2
1200	36,6	36,8	36,6	36,7	35,6	35,7	35,8	35,8	35,4	35,5	36,1	36,5	38,5	38,5	38,5	38,6	694,3	2,1
1210	37,1	37,2	37,1	37,1	36	36,1	36	36,2	35,8	35,9	36,6	37	38,9	38,9	39	39	561,1	3,1
1220	37,8	37,8	37,7	37,8	36,7	36,6	36,8	36,9	36,5	36,6	37,3	37,8	39,5	39,5	39,6	39,6	714,5	2,1
1230	38,3	38,3	38,1	38,1	36,9	37,1	37	37,1	37,1	37,1	37,9	38,3	40	40	40,1	40,1	658	1,1
1240	39,2	39,3	39,3	39,3	38	38,3	38,2	38,4	38,5	38,6	39,3	39,7	41,3	41,3	41,3	41,4	642,3	1,2
1250	39,9	40,1	39,9	40,1	38,6	39,1	39,1	39,1	39,4	39,5	40,1	40,6	41,9	42	42,1	42,1	724,8	3,3
1300	40,4	40,3	40,2	40,6	40	40,2	40,3	40,5	40,6	41	41,4	41,5	43	43,5	43,6	44,2	384,2	3,3
1310	41,6	41,7	41,4	41,8	41,3	42,4	42,6	42,7	42,6	42,9	43,2	43,6	44,5	44,8	44,8	44,9	666,6	1,1
1320	43,2	43,2	43,3	43,8	43,5	44,6	44,5	44,5	44,5	44,3	44,6	45	45,9	46,3	46,7	46,9	564,3	1,1
1330	43	42,8	42,8	42,4	42,1	43,4	43,6	43,5	43,4	43	43,8	43	45,6	45,9	46,3	46,9	700,1	1,1
1340	40,1	39,9	39,9	39,8	39,5	40,2	40,8	40,6	40,5	40,3	39,9	39,7	43,2	43,6	43,5	43	689,2	1,1
1350	39,9	39,9	39,7	39,8	38,8	38,9	38,8	38,9	38,9	38,9	39,6	40	41,7	41,6	41,6	41,7	656,7	1,1
1400	39,9	39,8	39,6	39,7	38,7	38,9	38,8	38,8	38,8	38,8	39,6	39,9	41,6	41,5	41,6	41,6	641,2	2,2
1410	39,7	39,7	39,5	39,5	38,6	38,8	38,5	38,8	38,7	38,6	39,4	39,8	41,3	41,4	41,4	41,5	306,9	4,4
1420	39,4	39,3	39,1	39,2	38,4	38,5	38,3	38,5	38,3	38,3	39,1	39,4	41,2	41,1	41,1	41,1	513,6	3,3
1430	39,1	39,1	38,9	38,9	38,2	38,5	38,3	38,5	38,1	38	38,8	39,1	41	40,9	40,9	41	550,8	1,1
1440	39,1	39	38,8	38,9	38,2	38,5	38,3	38,5	38,1	38	38,8	39,1	41	40,9	41	41	556,9	2,2
1450	38,8	38,8	38,6	38,6	38,1	38,3	38,2	38,3	37,8	37,8	38,5	38,9	40,8	40,8	40,8	40,8	560,6	1,1
1500	38,7	38,6	38,5	38,5	37,9	38,2	38	38,1	37,7	37,6	38,4	38,8	40,8	40,6	40,7	40,7	566,2	1,1
1510	38,5	38,5	38,3	38,3	38	38,1	38,1	38,2	37,9	37,5	37,3	37,4	40,5	40,5	40,4	40,4	570,1	3,3
1520	38,6	38,4	38,5	38,4	37,8	38,2	38,1	38	37,5	37,4	37,4	37,5	40	40	40,1	40,1	577,4	2,2
1530	38	38,2	38,3	38,3	38	38,1	38,1	38	37,3	37,2	37,4	37,3	40,1	39,9	40	40	664,2	3,3
1540	38,1	38	37,9	37,8	38	38,3	38,2	38,2	37,4	37,4	37,5	37,8	40,2	40,1	40,3	40,2	528,3	4,2
1550	38,2	38,1	38,3	38	37,8	38	38,3	38,1	37,4	37,5	37,5	37,5	39,8	39,9	40,2	40	526,2	2,2
1.600	37,5	37,9	38	37,8	38	38	38,1	38	37,8	37,6	37,6	37,3	40,1	40,2	40,2	40,2	667,2	1,1
1610	37,9	37,8	37,8	38	38,2	38,4	38,4	38,3	37,9	38,2	38,1	38,1	40,4	40,3	40,3	40,3	354,2	2,1
1620	38	38,1	38,1	38	38,6	38,9	38,9	38,6	38	38,1	38,1	38	41	40,9	40,9	40,9	204,6	1,1
1630	38,3	38,2	38,2	38	38,9	38,8	38,6	38,7	38,1	38,3	38,3	38,2	41,2	41,2	41,3	41,1	186,9	0
1640	38	37,8	37,9	37,9	38,6	38,6	38,6	38,5	38	37,9	38,1	37,9	40,3	40,2	40,2	40,2	384,2	2,2
1650	37,5	37,5	37,6	37,5	38,3	38,3	38,2	38,3	37,8	37,9	38	37,9	39,9	40	40	40,1	356,3	1
1700	37,8	37,6	37,6	37,6	38,2	38,4	38,5	38,3	37,7	37,5	37,6	37,4	40,1	40,3	40,3	40	249,5	1,1

Datos tomados el día 3.

Día 3	11 pvc				11 cobre tipo M				31 pvc				31 cobre tipo M				Q [W/m ²]	viento
	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4	t1	t2	t3	t4		
900	16,4	16,3	16,1	16	16,3	16,4	16,4	16,2	16	16,3	16,3	15,8	16,3	16,4	16,7	16,4	186,3	1,1
910	17,3	17,4	17,4	16,5	17,1	17,5	17,5	17,3	16,3	16,4	16,4	16	17	17,5	17,5	17	150,9	1,1
920	17,2	17,8	17,4	17,3	17	17,7	17,8	17,8	16,8	16,5	16,5	16,6	17,8	18	18,3	18,3	176,8	1,1
930	18	18,9	18,8	18,8	18,3	18,5	18,9	19,2	17,3	17,5	17,3	17,3	18,4	18,5	18,5	18,6	211,7	4,4
940	19,3	19,8	19,8	19,5	19,5	19,9	20,2	20,6	17,8	17,5	17,8	18	20	20,3	20,9	21,3	255	1,1
950	21,7	21,9	21,8	21,9	21,4	21,6	22	21,7	19,1	19,2	20,1	20,4	22,9	22,9	23	23	598	1,1
1000	23,1	23,3	23,1	23,1	22,6	22,8	23,3	22,9	20,4	20,5	21,3	21,6	24,2	24,2	24,3	24,3	249,5	1,1
1010	25,1	25,3	25,2	25,1	24,5	24,4	24,7	24,8	22,5	22,6	23,5	23,8	26,3	26,3	26,5	26,5	291,8	1,1
1020	26,3	26,4	26,3	26,3	25,6	25,8	26	25,9	23,7	23,9	24,6	25	27,6	27,6	27,7	27,7	260,6	1,1
1030	27	27,1	27,5	27,4	26,3	26,8	26,7	26,7	24,6	25,4	25,9	26,8	26,9	26,9	27,2	27,5	353,2	1,1
1040	27,4	27,6	27,6	27,5	26,5	27	27,3	27	26,5	26,5	26,6	27	28,3	28,3	28,4	28,6	568,5	3,2
1050	28,6	28,3	28,5	28,6	29,3	28,3	28,8	28,8	27,8	28,1	28,3	28,3	29,5	29,7	30,1	30,3	248,2	1,1
1100	30,5	30,1	30,6	30,6	29,5	29,8	29,9	29,9	28,3	28,5	29,1	29,6	32,1	31,9	32,1	32,1	427,5	1,1
1110	31,1	31,3	31,2	31,1	30,1	30,3	30,5	30,5	29	29,1	29,8	30,2	32,6	32,6	32,7	32,8	564,3	1,1
1120	32,4	32,6	32,5	32,5	31,3	31,6	31,6	31,7	30,6	30,7	31,4	31,8	34,1	34,1	34,1	34,2	550,8	1,1
1130	33,5	33,6	33,5	33,4	32,3	32,7	32,7	32,7	31,7	31,8	31,9	32,5	35,3	35,3	35,4	35,5	556,9	1,1
1140	34,6	34,8	34,6	34,6	33,5	33,7	33,5	33,8	33	33,1	33,8	34,3	36,5	36,5	36,5	36,5	560,6	1,1
1150	34,9	35	35	34,9	33,8	34	34,1	34,1	33,4	33,5	34,2	34,6	36,8	36,8	36,8	36,9	566,2	2,2
1200	36,6	36,8	36,6	36,7	35,6	35,7	35,7	35,8	35,4	35,5	36,1	36,5	38,5	38,5	38,5	38,6	694,3	2,1
1210	37,1	37,2	37,1	37,1	36	36,1	36	36,2	35,8	35,9	36,6	37	38,9	38,9	39	39	561,1	3,1
1220	37,8	37,8	37,7	37,8	36,7	36,6	36,8	36,9	36,5	36,6	37,3	37,8	39,5	39,5	39,6	39,6	714,5	2,1
1230	38,3	38,3	38,1	38,1	36,9	37,1	37	37,1	37,1	37,1	37,9	38,3	40	40	40,1	40,1	658	1,1
1240	39,2	39,3	39,3	39,3	38	38,3	38,2	38,4	38,5	38,6	39,3	39,7	41,3	41,3	41,3	41,4	642,3	1,2
1250	39,9	40,1	39,9	40,1	38,6	39,1	39,1	39,1	39,4	39,5	40,1	40,6	41,9	42	42,1	42,1	724,8	3,3
1300	40,4	40,3	40,2	40,6	40	40,2	40,3	40,5	40,6	41	41,4	41,5	43	43,5	43,6	44,2	384,2	3,3
1310	41,6	41,7	41,4	41,8	41,3	42,4	42,6	42,7	42,6	42,9	43,2	43,6	44,5	44,8	44,8	44,9	666,6	1,1
1320	43,2	43,2	43,3	43,8	43,5	44,6	44,5	44,5	44,5	44,3	44,6	45	45,9	46,3	46,7	46,9	564,3	1,1
1330	43	42,8	42,8	42,4	42,1	43,4	43,6	43,5	43,4	43	43,8	43	45,6	45,9	46,3	46,9	700,1	1,1
1340	40,1	39,9	39,9	39,8	39,5	40,2	40,8	40,6	40,5	40,3	39,9	39,7	43,2	43,6	43,5	43	689,2	1,1
1350	39,9	39,9	39,7	39,8	38,8	38,9	38,8	38,9	38,9	38,9	39,6	40	41,7	41,6	41,6	41,7	656,7	1,1
1400	39,9	39,8	39,6	39,7	38,7	38,9	38,8	38,8	38,8	38,8	39,6	39,9	41,6	41,5	41,6	41,6	641,2	2,2
1410	39,7	39,7	39,5	39,5	38,6	38,8	38,5	38,8	38,7	38,6	39,4	39,8	41,3	41,4	41,4	41,5	306,9	4,4
1420	39,4	39,3	39,1	39,2	38,4	38,5	38,3	38,5	38,3	38,3	39,1	39,4	41,2	41,1	41,1	41,1	513,6	3,3
1430	39,1	39,1	38,9	38,9	38,2	38,5	38,3	38,5	38,1	38	38,8	39,1	41	40,9	40,9	41	550,8	1,1
1440	39,1	39	38,8	38,9	38,2	38,5	38,3	38,5	38,1	38	38,8	39,1	41	40,9	41	41	556,9	2,2
1450	38,8	38,8	38,6	38,6	38,1	38,3	38,2	38,3	37,8	37,8	38,5	38,9	40,8	40,8	40,8	40,8	560,6	1,1
1500	38,7	38,6	38,5	38,5	37,9	38,2	38	38,1	37,7	37,6	38,4	38,8	40,8	40,6	40,7	40,7	566,2	1,1
1510	38,5	38,5	38,3	38,3	38	38,1	38,1	38,2	37,9	37,5	37,3	37,4	40,5	40,5	40,4	40,4	570,1	3,3
1520	38,6	38,4	38,5	38,4	37,8	38,2	38,1	38	37,5	37,4	37,4	37,5	40	40	40,1	40,1	577,4	2,2
1530	38	38,2	38,3	38,3	38	38,1	38,1	38	37,3	37,2	37,4	37,3	40,1	39,9	40	40	664,2	3,3
1540	38,1	38	37,9	37,8	38	38,3	38,2	38,2	37,4	37,4	37,5	37,8	40,2	40,1	40,3	40,2	528,3	4,2
1550	38,2	38,1	38,3	38	37,8	38	38,3	38,1	37,4	37,5	37,5	37,5	39,8	39,9	40,2	40	526,2	2,2
1.600	37,5	37,9	38	37,8	38	38	38,1	38	37,8	37,6	37,6	37,3	40,1	40,2	40,2	40,2	667,2	1,1
1610	37,9	37,8	37,8	38	38,2	38,4	38,4	38,3	37,9	38,2	38,1	38,1	40,4	40,3	40,3	40,3	354,2	2,1
1620	38	38,1	38,1	38	38,6	38,9	38,9	38,6	38	38,1	38,1	38	41	40,9	40,9	40,9	204,6	1,1
1630	38,3	38,2	38,2	38	38,9	38,8	38,6	38,7	38,1	38,3	38,3	38,2	41,2	41,2	41,3	41,1	186,9	0
1640	38	37,8	37,9	37,9	38,6	38,6	38,6	38,5	38	37,9	38,1	37,9	40,3	40,2	40,2	40,2	384,2	2,2
1650	37,5	37,5	37,6	37,5	38,3	38,3	38,2	38,3	37,8	37,9	38	37,9	39,9	40	40	40,1	356,3	1
1700	37,8	37,6	37,6	37,6	38,2	38,4	38,5	38,3	37,7	37,5	37,6	37,4	40,1	40,3	40,3	40	249,5	1,1

Datos tomados el día 4.

Día 4	1L COBRE TIPO M				3L PVC				3L COBRE TIPO M				Q [W/m ²]	viento				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	116	
900	15,2	15,2	15	14,9	14,6	14,8	14,8	14,4	14,2	14,3	14,1	14,2	15,1	15,2	15,3	15,2	242,4	1,1
910	15,8	15,6	15,4	15,3	15,6	15,9	15,9	15,7	15	14,9	14,9	15	16,5	16,8	16,9	17	417,6	1,1
920	18,7	18,5	18,4	18,4	17,8	17,9	18,5	18,8	16,4	16,8	16,8	16,7	18,3	18,4	18,6	19	466,3	1,1
930	20,8	20,9	20,7	21,1	20,8	20,6	20,8	20,9	19,8	20,5	19,3	19,5	21,8	21,8	21,9	21,9	571,4	1,1
940	21,8	21,9	21,5	21,8	21,7	21,6	21,8	21,8	20,8	21,5	20,3	20,5	22,8	22,9	23	23,1	627,5	1,1
950	22,8	22,9	22,5	22,7	22,8	22,4	22,6	22,6	21,7	22,3	21,1	21,3	23,8	23,8	23,9	23,9	386,5	3,3
1000	24,1	24,2	23,8	24,1	24,3	23,6	23,6	23,8	23	23,6	22,6	22,6	25,3	25,3	25,3	25,3	518,2	2,2
1010	24,6	24,7	24,7	24,5	26,3	26,9	26,9	27	23,3	23,4	23,5	23,2	26,3	26,9	26,9	27	349,2	3,3
1020	26	26,2	26,3	26,6	27,8	27,9	28,1	28	24,3	24,5	24,4	24,3	27,8	27,9	28,1	28	300,2	1,1
1030	28,3	28,4	28,6	28,6	29,4	29,4	29,3	29,3	24,7	24,7	24,5	26,3	29,4	29,4	29,3	29,3	411,7	1,1
1040	28,6	28,5	28,9	29	29,9	30	30,1	29,8	26,2	26,3	26,6	27,8	29,4	29,5	31,3	31,5	524,1	1,1
1050	29,2	29,4	29,4	29,4	30,8	30,6	30,8	31	28,4	28,6	28,6	29,4	29,9	30,1	32	32,2	667,6	1,1
1100	29,4	29,5	29,4	29,5	31,3	31,5	31,6	31,5	28,6	28,5	28,9	29	31,5	31,9	32,6	32,7	776	1,1
1110	31,2	31	29,9	30,1	32	32,2	32,2	32,4	29,2	29,4	29,4	29,4	32,6	32,6	33,4	33,6	245,7	3,2
1120	31,4	31,8	31,5	31,9	32,6	32,7	32,5	32,8	29,4	29,5	29,4	29,5	33,4	33,3	34,6	34,5	709,2	2,1
1130	32,5	32,4	32,6	32,6	33,4	33,6	33,6	33,5	31,4	31,8	31,5	31,9	33,8	33,8	35,8	35,3	384,2	3,1
1140	33	33,4	33,4	33,3	34,6	34,5	34,6	34,6	32,5	32,4	32,6	32,6	33,6	33,6	33,5	33,6	400,5	2,1
1150	33,8	33,7	33,8	33,8	35,8	35,3	35,4	35	32,6	33,4	33,6	33,6	34,5	34,6	34,6	34,9	245,2	1,1
1200	34,3	34,3	34,5	34,4	35,8	35,7	35,8	35,9	33,3	34,6	34,5	34,6	35,3	35,4	35	35,4	579,3	1,2
1210	36,1	36,2	36,2	36,1	36,1	36,3	36,5	36,5	33,8	35,8	35,3	35,4	35,8	35,7	35,8	35,9	596,3	3,3
1220	36,4	36,6	36,4	36,4	37,9	38	38,1	38,2	34,4	35,8	35,7	35,8	36,1	36,3	36,5	36,5	669,2	3,3
1230	36,5	36,7	36,8	36,7	38,4	38,5	38,4	35,3	36,7	36,8	36,7	38,4	37,9	38	38,1	38,2	574,2	1,1
1240	36,9	36,8	37	37,1	38,6	38,7	38,7	38,9	36,8	37	37,1	38,6	38,4	38,5	38,4	38,5	709,1	1,1
1250	38,6	38,9	38,8	39,2	39,2	39,4	39,2	39,1	38,9	38,8	39,2	39,2	39,8	39,9	40,1	40	815,6	2,2
1300	39,4	39,4	39,4	39,6	39,5	39,7	39,9	40	39,2	39,4	39,5	39,5	41,6	41,8	41,8	41,8	837,9	1,1
1310	40,5	40,6	40,5	40,4	40,3	40,6	40,6	40,7	40,3	40,5	40,5	40,6	42,5	42,6	42,5	42,7	832,8	1,1
1320	41,3	41,4	41,5	41,8	40,9	40,9	41	41,2	41,5	41,3	41,6	41,5	44	43,9	44,1	44,3	744,4	1,1
1330	42,3	42,2	41,8	42,1	41,5	41,3	41,5	41,5	42,8	43,1	42,1	42,3	45,1	45,3	45,3	45,2	836,6	2,2
1340	42,4	42,3	42	42,3	41,3	41,5	41,7	41,7	42,8	43,2	42,2	42,4	45,3	45,5	45,5	45,5	548,2	1,1
1350	42,3	42,3	42,2	42,4	41,6	41,8	41,6	41,6	42,5	42,6	42,6	42,6	45,4	45,5	45,3	45,4	462,7	1,1
1400	42,6	42,6	42,3	42,6	41,9	42,1	42,3	42,3	43	43,6	42,5	42,8	45,6	45,8	45,8	45,8	717,7	1,1
1410	43,9	43,9	43,6	44	43,2	43,3	43,5	43,5	44,3	44,8	43,8	44,1	48,3	48,2	48,5	48,5	721,9	1,1
1420	44,2	44,4	44,4	44,6	43,6	43,5	43,7	43,9	44,4	44,6	44,8	44,7	50	50,1	49,8	49,9	735,9	1,1
1430	44,6	44,6	44,3	44,5	44	44,1	44,1	44,1	45	45,5	44,3	44,6	51,5	51,4	51,3	51,3	356,2	2,2
1450	44,9	44,9	45,1	45	45,4	45,6	45,8	45,8	45,3	45,5	45,6	45,4	51,4	51,5	51,4	51,3	93,48	1
1500	45	45,2	45,1	45,4	46,8	46,9	46,9	46,8	46,2	46,5	46,7	47	52,5	52,3	52,6	52,9	104,4	2,2
1510	46,2	46,5	46,7	46,9	47,1	47,4	47,5	47,2	46,5	46,5	46,6	46,7	53,6	53,6	53,7	53,8	109,1	3,2
1520	47,1	46,8	46,8	46,9	47,6	47,8	47,8	48	46,9	46,7	46,6	46,7	55,6	55,8	55,9	55,6	162,5	2,1
1530	47,2	47,1	47	46,8	48,5	48,4	48,6	48,5	46,5	46,7	46,9	47,1	56,2	56,4	56,3	56	284,5	1,1
1540	47,1	47,2	47	47	48,6	48,6	48,5	48,5	46,8	46,8	46,9	47,3	56	56,1	56,2	56,1	384,2	1,1
1550	46,8	46,7	46,5	46,5	48,3	48,5	48,4	48,2	46,4	46,5	46,5	46,6	55,9	55,8	55,6	55,5	55,34	1,1
1600	46,4	46,3	46,3	46,2	48,1	48	47,8	47,7	46,3	46,4	46,5	46,4	55,2	54,8	54,7	54,6	154,3	1,1
1610	46,1	45,8	45,9	46	47,8	47,7	47,8	47,8	46,1	46	46,2	46	55,1	55	55	55,1	103,4	1,1
1620	46,2	45,9	45,8	45,9	47,5	47,6	47,5	47,5	45,8	45,9	45,8	45,6	54,9	54,7	54,7	54,6	125,2	2,2
1630	46	46,1	46	46	47,2	47,3	47	47	45,7	45,8	45,7	45,7	54,6	54,7	54,6	54,7	138,2	0
1640	45,2	45	44,9	44,7	46,4	46,4	46,3	46,3	45,5	45,4	45,3	45,2	53,2	53,1	52,7	52,6	107,6	0
1650	44,3	44,3	44,3	44	45,2	45,2	45,1	44,9	45	45,1	45,1	45	53	53,1	52,8	52,7	124,6	3,1
1700	42,7	42,6	42,4	42,1	44,8	44,9	44,8	44,5	45,2	45,3	45,1	45,2	51,6	51,4	51,6	51,3	102,4	1,1

Datos tomados el día 5.

Día 5	1 litro PVC				1litro COBRE TIPO M				3 LITROS PVC				3LITROS COBRE TIPO M				Q	viento
hora	t1	t2	t3	t4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	W/m ²	
900	16,4	16,4	16,3	16,2	16,3	16,5	16,4	16,1	15,8	15,9	16	16	17	16,8	16,6	16,7	118,2	1,1
910	17,8	17,6	17,6	18,1	18	17,8	17,9	17,9	17,6	17,8	17,6	17,9	18,5	18,6	18,8	18,9	425,9	1,1
920	19,9	20,2	20,4	21,2	19,9	20,3	20,4	20,8	18,9	19,5	19,6	19,8	20	20,3	20,4	20,5	316,4	1,1
930	22,7	22,5	22,8	23,2	22,1	22,3	22,3	22,3	21,5	20,9	20,6	20,8	22,9	23,1	23	23,3	624,5	1,1
940	24,3	24,1	24,3	24,7	23,6	23,7	23,8	23,8	22,9	22,3	22	22,2	24,7	24,8	24,6	25,3	576,2	1,1
950	25,5	25,1	25,4	25,9	24,6	24,8	24,8	24,9	24	23,4	23,1	23,3	26	26,1	26	26,4	346,2	2,2
1000	26,6	26,4	26,6	27	25,9	26	26	26,1	25,1	24,6	24,3	24,6	27,5	27,6	27,5	28	438,3	1,1
1010	27,8	27,6	27,8	28,2	27,1	27,2	27,2	27,3	26,3	25,8	25,5	25,7	28,9	29	28,9	29,3	504,1	2,2
1020	29	28,8	29	29,5	28,2	28,3	28,3	28,4	27,4	27	26,7	26,9	30,3	30,5	30,3	30,7	528,6	4,4
1030	30	29,7	29,9	30,3	29,1	29,2	29,3	29,3	28,4	27,9	27,6	27,8	31,4	31,5	31,3	31,7	784,3	3,3
1040	31,2	30,9	31,2	31,6	30,3	30,4	30,5	30,5	29,6	29,3	28,9	29,2	32,8	32,9	32,8	33,2	666,5	1,1
1050	32,2	31,9	32,2	32,6	31,3	31,4	31,5	31,5	30,8	30,4	30,1	30,3	34	34,1	34	34,1	756,3	2,2
1100	32,9	32,7	32,9	33,4	32,1	32,2	32,3	32,3	31,8	31,3	31	31,2	35	35,1	35	35,2	667,6	1,1
1110	34	33,8	34	34,5	33,1	33,3	33,3	33,3	32,9	32,5	32,2	32,3	36,2	36,3	36,2	36,3	885,6	1,1
1120	34,8	34,6	34,9	35,3	34	34,1	34,1	34,2	33,9	33,5	33,1	33,3	37,2	37,3	37,2	37,4	756,9	2,2
1130	35,9	35,6	35,9	36,4	35,1	35,2	35,3	35,3	35,2	34,7	34,3	34,6	38,5	38,6	38,6	38,8	709,2	1,1
1140	36,7	36,5	36,7	37,2	35,9	36	36	36,1	36,1	35,6	35,3	35,5	39,5	39,6	39,4	39,6	684,3	1,1
1150	37,2	36,9	37,2	37,7	36,4	36,5	36,5	36,6	36,8	36,3	35,9	36,1	40,1	40,1	40,1	39,9	400,5	1,1
1200	37,9	37,6	37,8	38,3	37,1	37,2	37,2	37,2	37,5	37	36,6	36,8	40,8	40,9	40,8	40,8	125,3	1,1
1210	38,6	38,3	38,5	38,9	37,8	37,9	37,9	37,9	38,3	37,8	37,5	37,6	41,6	41,7	41,6	41,5	579,3	1,1
1220	39,3	39	39,2	39,6	38,5	38,6	38,6	38,6	39,1	38,6	38,3	38,4	42,4	42,5	42,3	42,3	888,2	3,3
1230	40,2	40,4	40,5	40,5	38,8	38,9	39,2	39,1	39,5	39,7	39,9	40,1	42,5	42,6	42,6	42,5	669,2	2,2
1240	40,9	41,3	41,3	41,4	39,4	39,6	39,6	39,8	40,3	40,5	40,8	40,9	43,2	43,4	43,7	43,7	345,6	3,3
1250	42	42,1	42,5	42,4	39,6	39,8	39,9	38,8	40,6	40,8	41,1	41,3	44,4	44,6	44,5	44,6	547,6	1,1
1300	42,4	42,6	42,7	42,6	40,3	40,6	40,8	40,8	41	41,4	41,6	41,9	45,2	45,3	45,7	45,8	828,2	1,1
1310	43,1	43,4	43,5	43,5	41,4	41,7	41,6	41,6	41,7	41,8	42,1	42,5	45,3	45,5	45,6	45,6	666,2	1,1
1320	43,4	43,5	43,7	43,9	42,8	42,9	43,1	43	42,4	42,6	42,6	42,9	45,9	46,1	46,2	46,3	802,5	1,1
1330	43,8	43,9	44,3	44,3	42,8	42,9	43,2	43,5	43,1	43,5	43,8	43,8	46,4	46,5	46,6	46,9	523,4	1,1
1340	44,1	43,8	44	44,3	43,6	43,7	43,7	43,7	43,7	44,1	43,7	44,1	47,9	48	47,8	47,9	769,1	3,2
1350	44,2	43,9	44,1	44,5	43,8	43,8	43,8	43,9	44,9	44,3	43,8	44,3	48	48,1	47,9	47,9	385,2	2,1
1400	44,4	44	44,3	44,9	43,9	43,9	43,9	44	45,1	44,5	44,1	44,4	48,1	48,2	48	48	793,2	3,1
1410	44,5	44,1	44,4	44,9	44	44,1	44,1	44,1	45	44,6	44,3	44,4	48,2	48,3	48,2	48,1	462,3	2,1
1420	44,6	44,1	44,3	44,9	44,1	44,1	44,1	44,1	45,2	44,6	44,3	44,5	48,3	48,5	48,3	48,1	665,3	1,1
1430	44,8	44,4	44,7	45,3	44,5	44,6	44,6	44,6	45,5	44,9	44,6	44,8	48,8	48,9	48,8	48,6	786,2	1,2
1440	45	44,7	44,9	45,6	44,9	44,9	44,9	44,9	45,7	45,2	44,8	45	49,1	49,2	49	48,8	438,2	3,3
1450	45,3	44,9	45,2	45,8	45,1	45,2	45,2	45,2	45,9	45,5	45,1	45,2	49,5	49,5	49,3	49,1	563,1	3,3
1500	45,5	45,1	45,5	46	45,5	45,5	45,5	45,5	46,1	45,6	45,3	45,4	49,8	49,8	49,6	49,4	256,4	1,1
1510	45,6	45,1	45,4	46	45,5	45,6	45,6	45,6	45,9	45,5	45,1	45,3	49,8	49,9	49,7	49,7	384,1	1,1
1520	45,8	45,4	45,6	46,3	45,8	45,9	45,9	45,9	46,2	45,6	45,3	45,5	50,1	50,2	50	49,8	109,3	2,2
1530	45,9	45,6	45,8	46,5	46,1	46,1	46,1	46,1	46,3	45,8	45,4	45,7	50,3	50,5	50,3	50,1	502,5	1,1
1540	46,1	45,8	46,1	46,7	46,5	46,5	46,5	46,5	46,5	45,9	45,6	45,8	50,6	50,7	50,5	50,3	162,4	1,1
1550	46,2	45,7	46,1	46,6	46,5	46,5	46,5	46,5	46,3	45,8	45,5	45,7	50,6	50,6	50,5	50,3	201,3	0
1600	46,1	45,7	46,1	46,6	46,6	46,6	46,6	46,6	46,1	45,7	45,3	45,6	50,6	50,7	50,5	50,5	194,6	0
1610	46,1	45,8	46,1	46,6	46,7	46,8	46,7	46,7	46,1	45,6	45,3	45,6	50,8	50,8	50,6	50,6	254,3	3,3
1620	45,9	45,4	45,6	46,1	46,5	46,4	46,4	46,3	45,8	45,2	44,8	45	50,3	50,4	50,2	50	384,2	4,2
1630	45,5	44,9	45,2	45,7	46,1	46,1	46,1	46	45,3	44,7	44,3	44,5	49,9	50	49,8	49,7	120,1	2,2
1640	45,2	44,8	45	45,6	46,1	46,1	46	45,9	45	44,5	44,1	44,3	49,9	49,9	49,8	49,7	356,4	1,1
1650	44,9	44,5	44,7	45,1	45,9	45,8	45,8	45,8	44,7	44,1	43,7	43,9	49,6	49,7	49,5	49,3	104,3	2,1
1700	44,5	43,9	44,1	44,6	45,5	45,5	45,3	44,3	43,5	43,2	43,4	43,4	49,2	49,3	49	49,2	284,2	1,1

Cálculo y análisis de resultados.

I	Aire botella Sup botella Sup PVC Sup Cobre tipo M				I [W/m ²]	viento	Q conv	Q rad	Q per	Grashof	Nusselt	Pr	Reileigh	Reynolds
	Aire botella	Sup botella	Sup PVC	Sup Cobre tipo M										
1100	44,3	25,4	38	39,1	666,6	1,1	104,7	138,3	243	794746	12,38	0,7076	562383	6010
1130	50,6	26,7	38,9	40,5	700,1	1,1	130,4	165,5	295,8	935032	12,95	0,7075	661574	5987
1200	55,8	29,3	39,8	42,7	886,4	1,1	185	220,8	405,9	1,21E+06	13,9	0,7074	853854	5940
1230	55,9	29,7	40,6	48,2	784,5	1,1	193,8	229,5	423,3	1,25E+06	14,03	0,7073	882729	5933
1300	60,3	30,8	41,9	56,8	672,8	1,1	218,3	253,4	471,8	1,36E+06	14,37	0,7073	961179	5913
1330	61,2	31,6	43,5	57,2	628,6	2,1	236,5	271	507,6	1,44E+06	14,6	0,7072	1,02E+06	11262
1400	61,3	32	46,5	53,8	482,3	2,1	245,7	279,9	525,6	1,48E+06	14,71	0,7072	1,05E+06	11249
1430	61,4	32,4	47,6	48,3	384,6	3,1	255	288,8	543,8	1,52E+06	14,82	0,7072	1,07E+06	16585

II

1100	47,6	31,4	33,8	40,5	583	1,1	231,9	266,6	498,6	1,42E+06	14,54	0,7072	1,00E+06	5903
1130	50,4	35	38,5	42,8	607,4	1,1	317,1	347,4	664,4	1,77E+06	15,47	0,707	1,25E+06	5840
1200	50,2	37,5	38,9	43,7	723	1,1	379,3	405,1	784,4	2,00E+06	16,01	0,7069	1,41E+06	5797
1230	52,1	38,9	42,2	47,2	601,2	1,1	415	438,1	853,1	2,12E+06	16,28	0,7068	1,50E+06	5773
1300	54,9	40	44,5	50	589,4	2,2	443,6	464,3	907,9	2,22E+06	16,49	0,7067	1,57E+06	11508
1330	55,3	42,1	48,5	52,5	577,5	2,2	499,2	515,1	1014	2,39E+06	16,85	0,7066	1,69E+06	11437
1400	55,5	43	49,9	53,7	515,3	3,2	523,4	537,2	1061	2,47E+06	17	0,7065	1,74E+06	16592
1430	52,8	43,6	51,8	53,9	455,7	4,4	539,7	552	1092	2,52E+06	17,1	0,7065	1,78E+06	22774

III

1100	42,1	22,3	25,6	38	578,5	1,1	49,06	74,97	124	4,48E+05	10,58	0,7078	3,17E+05	6067
1130	39,5	22,5	26,7	38,9	675,1	1,1	52,36	78,99	131,4	471212	10,72	0,7078	333532	6063
1200	46,3	23,5	29,3	39,8	790,7	2,2	69,52	99,25	168,8	584453	11,37	0,7078	413646	12090
1230	39,2	24,8	28,4	37,2	500,4	2,2	93,25	125,9	219,1	729018	12,09	0,7077	515901	12042
1300	41,6	25,6	32,5	42,5	380,1	2,2	108,6	142,5	251	816516	12,47	0,7076	577778	12013
1330	39,4	25,9	32,4	43,2	307,6	3,3	114,4	148,7	263,1	849044	12,61	0,7076	600778	18004
1400	38,4	27,4	31,8	46,3	270,5	4,2	144,7	180,2	324,9	1,01E+06	13,23	0,7075	714135	22810
1430	38,7	32,7	31,6	47,6	254,6	4,4	262	295,5	557,5	1,55E+06	14,9	0,7072	1,09E+06	23520

IV

1100	37,6	26	33,9	40,5	324,7	1,1	116,4	150,8	267,2	859852	12,65	0,7076	608420	5999
1130	49,3	30,8	38,5	42,9	568,5	1,1	218,3	253,4	471,8	1,36E+06	14,37	0,7073	961179	5913
1200	55,6	31,2	38,9	43,5	790,7	1,1	227,4	262,2	489,6	1,40E+06	14,49	0,7073	989363	5906
1230	47,5	32	42,6	47,2	729,8	1,1	245,7	279,9	525,6	1,48E+06	14,71	0,7072	1,05E+06	5892
1300	48	32	44,5	50,3	630,2	1,1	245,7	279,9	525,6	1,48E+06	14,71	0,7072	1,05E+06	5892
1330	46,5	32,2	48,3	53,9	519,2	2,1	250,4	284,3	534,7	1,50E+06	14,77	0,7072	1,06E+06	11242
1400	51,6	32,5	50,1	54,3	464,6	3,1	257,4	291	548,3	1,53E+06	14,85	0,7072	1,08E+06	11232
1430	56,6	37,9	51,8	53,1	398,4	3,3	389,4	414,5	803,9	2,03E+06	16,09	0,7068	1,44E+06	17369

V

1100	38,4	22,8	38	39,2	669,2	1,1	57,4	85,05	142,4	505372	10,93	0,7078	357700	18173
1130	39,5	23	38,9	40,5	776	1,2	60,81	89,1	149,9	528056	11,06	0,7078	373749	6605
1200	42,6	23,5	39,8	42,7	837,9	2,2	69,52	99,25	168,8	584453	11,37	0,7078	413646	12090
1230	45,5	25,4	41	48,2	744,4	2,2	104,7	138,3	243	794746	12,38	0,7076	562383	12021
1300	48,2	25,9	41,9	56,8	665,3	2,2	114,4	148,7	263,1	849044	12,61	0,7076	600778	12002
1330	51,5	27,6	43,5	57,2	502,47	2,5	148,8	184,5	333,3	1,03E+06	13,3	0,7075	729044	13569
1400	55,8	27,9	46,5	53,8	438,2	3,3	155,1	190,8	345,9	1,06E+06	13,41	0,7075	751318	17895
1430	57,2	28,6	47,6	48,3	201,3	4,1	169,9	205,8	375,7	1,14E+06	13,66	0,7074	802875	22187

Qinc	Qganado	Eficiencia				
3052,39	2809,39	0,92	20,3	Constantes		
2701,49	2405,69	0,89	26,3	Flujo másico	0,432	[kg/s]
2410,85	2004,95	0,83	34,3	Area superficial	5,466	[m ²]
2316,84	1893,54	0,82	39,8	Emisividad	0,63	
2295,49	1823,69	0,79	43	Qincidente		
2164,63	1657,03	0,77	47,2			
1660,84	1135,24	0,68	49,7			
1324,40	780,60	0,59	50,1			

2489,71	1991,11	0,80	19,6
2091,63	1427,23	0,68	27,1
2070,28	1285,88	0,62	34,8
2029,65	1176,55	0,58	39,4
2007,61	1099,71	0,55	44,4
1988,67	974,67	0,49	45,3
1774,48	713,48	0,40	49
1569,24	477,24	0,30	50,8

2722,84	2598,84	0,95	19,6
2324,76	2193,36	0,94	24,8
1992,11	1823,31	0,92	33,1
1723,17	1504,07	0,87	37,9
1308,90	1057,90	0,81	39,9
1059,25	796,15	0,75	42,5
931,49	606,59	0,65	43,1
876,74	319,24	0,36	44,1

2722,84	2455,64	0,90	16,4
2513,12	2041,32	0,81	20,9
2170,14	1680,54	0,77	27,9
1957,68	1432,08	0,73	35,8
1787,91	1262,31	0,71	40,9
1599,89	1065,19	0,67	41,6
1371,92	823,62	0,60	43,6
1118,13	314,23	0,28	46,7

2885,38	2742,98	0,95	18,7
2672,22	2522,32	0,94	28
2563,40	2394,60	0,93	33,6
2304,44	2061,44	0,89	36,5
2291,01	2027,91	0,89	44,3
1730,30	1397,00	0,81	49,3
1508,98	1163,08	0,77	50,1
693,19	317,49	0,46	51,5

Anexo 4. Tarifas de consumo eléctrico en el Ecuador

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS

ENERO - DICIEMBRE **

RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	
CATEGORÍA RESIDENCIAL				
NIVEL TENSIÓN BAJA Y MEDIA TENSIÓN				
1-50		0,091	1,414	
51-100		0,093		
101-150		0,095		
151-200		0,097		
201-250		0,099		
251-300		0,101		
301-350		0,103		
351-500		0,105		
501-700		0,1285		
701-1000		0,1450		
1001-1500		0,1709		
1501-2500		0,2752		
2501-3500		0,4360		
Superior		0,6612		
RESIDENCIAL TEMPORAL				
		0,1285		
CATEGORÍA GENERAL				
NIVEL TENSIÓN BAJA TENSIÓN SIN DEMANDA				
COMERCIAL				
1-300		0,092	1,414	
Superior		0,103		
E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS, SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES				
1-300		0,082		
Superior		0,093		
BOMBEO AGUA				
1-300		0,072		
Superior		0,083		
BOMBEO AGUA SERVICIO PÚBLICO DE AGUA POTABLE				
1-300		0,058		
Superior		0,066		
INDUSTRIAL ARTESANAL				
1-300		0,073		
Superior		0,089		
ASISTENCIA SOCIAL, BENEFICIO PÚBLICO Y CULTO RELIGIOSO				
1 - 100		0,034		
101-200		0,036		
201-300		0,038		
Superior		0,063		
NIVEL TENSIÓN BAJA TENSIÓN CON DEMANDA				
COMERCIALES				
	4,790	0,090	1,414	
INDUSTRIALES				
	4,790	0,080		
ENTIDADES OFICIALES, ESCENARIOS DEPORTIVOS SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES				
	4,790	0,080		
BOMBEO AGUA				
	4,790	0,070		

C. B. R.

Anexo 5. Hoja técnica de la bomba periférica.

