

Universidad Internacional de La Rioja (UNIR)

ESIT

**Máster Universitario en Gestión Ambiental y
Energética en las Organizaciones**

Diseño de sistema de energía solar térmica para ACS en conjunto residencial

Trabajo Fin de Máster

Presentado por: Paredes Gámez, Elba Gabriela.

Director: Sánchez Prieto, Javier.

Ciudad: QUITO
Fecha: 09/02/2021

RESUMEN

El proyecto tuvo como objetivo diseñar una instalación solar térmica para reemplazar el uso de calefones a GLP, como equipo principal para la producción de ACS en las 17 casas unifamiliares del Conjunto Entrerobles (Quito-Ecuador). Se estableció un diseño "tipo individual" y mediante el método F-Chart se determinó la superficie de captación según el número de integrantes de familia. El sistema termosifón contó con un área de captación de los captadores solares planos y un volumen del interacumulador de 2,01 m²-150 L, 2,33 m²-200 L y 4,02 m²-300 L para familias de 2, 3 y 4-5 personas, respectivamente. El diseño permitió lograr una cobertura solar promedio del 92,67 %, un ahorro energético promedio de 63.924,00 kWh anuales y evitó la emisión de 1.412,95 kg de CO₂ al año. La inversión inicial promedio fue de USD 2.955,39. Este diseño fue viable económicamente y se amortiza en un promedio de 10 años.

Palabras claves: instalación solar térmica, ACS, GLP, termosifón, colector solar plano.

ABSTRACT

The aim of the research was to design a solar thermal system to replace the use of LPG water heaters, as the main equipment for the production of HW at the 17 single-family houses of the Entrerobles Complex (Quito-Ecuador). An "individual type" design was established and the absorber area was determined using the F-Chart method according to the number of each family members. The thermosiphon solar thermal system had an absorber area of the flat-plate collectors and a cylinder capacity of 2.01 m²-150 L, 2.33 m²-200 L and 4.02 m²-300 L for families of 2, 3 and 4-5 people, respectively. This allowed to achieve an average solar coverage of 92.67 %, an average energy saving of 63,924.00 kWh/year and avoids the emission of 1,412.95 kg/year of CO₂. The average initial investment was USD 2,955.39. This design was economically viable and pays for itself in an average of 10 years.

Keywords: solar thermal system, HW, LGP, thermosiphon, flat-plate collector.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	8
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.2	METODOLOGÍA DEL TRABAJO	8
1.3	ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	9
2	CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE	10
2.1	SECTOR ENERGÉTICO ECUATORIANO.....	10
2.2	USO RESIDENCIAL DE LA ENERGÍA	13
2.3	GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP).....	14
2.4	LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	17
2.5	RECURSO SOLAR EN ECUADOR.....	20
2.6	SITUACIÓN EN ECUADOR DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	23
2.7	FACTIBILIDAD DE IMPLANTACIÓN DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN VIVIENDAS DEL ECUADOR	25
3	OBJETIVOS E HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....	27
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	27
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3.3	HIPÓTESIS DEL TRABAJO	27
4	DESARROLLO DEL PROYECTO	28
4.1	REQUISITOS DEL DISEÑO.....	29
4.1.1	Localización.....	29
4.1.2	Condiciones climáticas	30
4.1.3	Descripción de la edificación	32
4.1.4	Demanda de agua caliente sanitaria.....	37
4.2	DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.....	38
4.2.1	Parámetros y datos de entrada	38
4.2.2	Cálculo de la demanda.....	39
4.2.3	Cálculo de la superficie de captación	40
4.2.4	Cálculo de pérdidas por orientación, inclinación y sombras.....	46
4.2.5	Cálculo y dimensionamiento de los equipos	47
4.2.5.1	Acumulador	47
4.2.5.2	Intercambiador	48
4.2.5.3	Tuberías y aislamientos	49
4.2.5.4	Sistema de apoyo.....	52
4.3	ANÁLISIS DE SOLUCIONES	54
4.3.1	Elección de los elementos a instalar	54

4.3.2	Estructura soporte y adecuación del lugar asignado.....	55
4.3.2.1	Superficie inclinada	56
4.3.2.2	Superficie horizontal.....	57
4.4	ANÁLISIS ECONÓMICO	57
4.4.1	Presupuesto	57
4.4.2	Coste de mantenimiento.....	59
4.4.3	Inversión inicial.....	60
4.4.4	Viabilidad económica.....	61
4.4.5	Ahorro energético	62
4.5	ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL	62
4.5.1	Efectos positivos.....	63
4.5.2	Efectos negativos	64
5	RESULTADOS.....	65
6	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	78
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
8	BIBLIOGRAFÍA.....	86
9	ANEXOS	87
9.1	ANEXO I: GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION	87
9.2	ANEXO II: DATOS METEONORM	90
9.3	ANEXO III: ENCUESTA.....	92
9.4	ANEXO IV: PROFORMAS EQUIPOS SOLARES TERMOSIFÓN	93
9.5	ANEXO V: PROFORMAS EQUIPOS SOLARES DE CIRCULACIÓN FORZADA ..	95
9.6	ANEXO VI: EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN	97
9.7	ANEXO VII: EJEMPLO MATRIZ FLUJO DE CAJA ANUAL DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la producción de energía primaria 2008-2018.....	10
Figura 2. Estructura de oferta de energía primaria.	11
Figura 3. Evolución de la producción de energía secundaria 2008-2018.....	11
Figura 4. Estructura de oferta de energía secundaria.....	12
Figura 5. Demanda de energía por sector.	13
Figura 6. Consumo de energía por fuente en el sector residencial.	14
Figura 7. Oferta de GLP en Ecuador.	16
Figura 8. Tipos de energía solar térmica	18
Figura 9. Componentes de una instalación solar térmica	20
Figura 10. Trayectoria del Sol a lo largo del año a latitud 0°, como Quito, Ecuador.....	21
Figura 11. Irradiación global promedio en Ecuador continental.....	22
Figura 12. Conjunto residencial Entrerobles. (Google Maps, 2020)	29
Figura 13. Fachada frontal casas tipo A (derecha) y casas tipo B (izquierda).....	34
Figura 14. Corte A-A' casas tipo A y B.....	35
Figura 15. Techo Casa A2	35
Figura 16. Techo Casa A1	36
Figura 17. Fachada frontal casas tipo C (Entrerobles, 2004)	36
Figura 18. Azotea Casa C3 y C4	37
Figura 19. Esquema Sistema solar de termosifón VITOSOL 111-F	43
Figura 20. Sistema solar de termosifón VITOSOL 11-F de 300 L	43
Figura 21. Circuito hidráulico	51
Figura 22. Calefón a GLP	53
Figura 23. Circuito del sistema de apoyo	54
Figura 24. Sistema solar de termosifón en superposición arquitectónica.....	56
Figura 25. Sistema solar de termosifón en superficie plana	57
Figura 26. Número de personas que integran las familias residentes del Conjunto Entrerobles	65
Figura 27. Mantenimiento calefón.....	66
Figura 28. Cilindros de GLP mensual	67
Figura 29. Contribución solar y de apoyo para diseño casas B1, B2, B5, B6 y B11	68
Figura 30. Contribución solar y de apoyo para diseño casas B11, C1 y C3	69
Figura 31. Contribución solar y de apoyo para diseño casas A1 y C4	70
Figura 32. Energía útil entregada por la instalación solar.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencia efectiva y nominal de las centrales eléctricas por tipo e fuente	12
Tabla 2. Ubicación Ecuador continental.....	20
Tabla 3. Zonas del Ecuador según irradiación solar.....	22
Tabla 4. Proyectos fotovoltaicos en las islas Galápagos	22
Tabla 5. Análisis FODA de la implementación de sistemas de producción de ACS a partir de energía solar en viviendas de Quito.....	25
Tabla 6. Variables generales encuestadas en el conjunto Entrerobles	28
Tabla 7. Variables específicas encuestadas en el conjunto Entrerobles	28
Tabla 8. Ubicación del proyecto.....	30
Tabla 9. Ubicación de la estación meteorológica.....	30
Tabla 10. Temperatura media Estación meteorológica Cotocollao	31
Tabla 11. Temperatura de la red.....	31
Tabla 12. Contribución solar mínima para la obtención de ACS para la Zona VI.....	32
Tabla 13. Tipos de casa Conjunto Residencial Entrerobles	32
Tabla 14. Áreas comunes	33
Tabla 15. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial.....	37
Tabla 16. Valores de k a latitud 0° a diferente inclinación	39
Tabla 17. Parámetros para el cálculo de la demanda.....	39
Tabla 18. Parámetros para el cálculo de D ₁	41
Tabla 19. Parámetros para el cálculo de D ₂	42
Tabla 20. Datos técnicos sistema solar de termosifón VITOSOL 111-F.....	43
Tabla 21. Energía demandada mensual satisfecha por la instalación solar para la producción de ACS para 2 personas.....	44
Tabla 22. Energía demandada mensual satisfecha por la instalación solar para la producción de ACS para 3 personas.....	45
Tabla 23. Energía demandada mensual satisfecha por la instalación solar para la producción de ACS para 4 personas.....	45
Tabla 24. Energía demandada mensual satisfecha por la instalación solar para la producción de ACS para 5 personas.....	46
Tabla 25. Relación volumen del acumulador y superficie de captación	48
Tabla 26. Relación superficie útil de intercambio y superficie total de captación	48
Tabla 27. Parámetros para el cálculo de D ₁	50
Tabla 28. Elementos circuito hidráulico	52
Tabla 29. Especificaciones técnicas de calefón Conjunto Entrerobles.....	53
Tabla 30. Costos para sistema solar termosifón de 150 [L].....	57

Tabla 31. Costos para sistema solar termosifón de 200 [L].....	58
Tabla 32. Costos para sistema solar termosifón de 300 [L].....	58
Tabla 33. Costos para sistema solar termosifón de 300 [L].....	58
Tabla 34. Plan de vigilancia preventivo.....	59
Tabla 35. Inversión inicial por casa.....	60
Tabla 36. Periodo de retorno con precio actual de GLP	61
Tabla 37. Viabilidad del proyecto (valores promedio)	62
Tabla 38. Gasto actual mensual por compra de GLP	73
Tabla 39. Viabilidad del proyecto por vivienda.....	75
Tabla 40. Energía final entregada por el GLP por casa.....	76
Tabla 41. Emisiones de CO ₂ mensuales por casa.....	77

1 INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El conjunto residencial Entrerobles, cuenta con 17 casas unifamiliares y tiene 12 años de haber sido construido. El diseño original de las casas contempló el uso de un calefón a gas (GLP) como sistema de calentamiento de agua. Debido a que estos equipos fueron instalados al momento de la construcción, además de su respectivo uso y que en algunas casas no se da el correcto mantenimiento, los equipos han empezado a fallar.

Adicional a esto, el GLP es un combustible subsidiado por el Estado en Ecuador, pero existe la creciente preocupación por su eliminación. Actualmente la inestabilidad y fluctuación de los precios internacionales de petróleo, conjuntamente con la incertidumbre política que el país atraviesa debido a las próximas elecciones, genera en el ecuatoriano medio intranquilidad por el presupuesto fiscal de los próximos años. El estado siempre ha barajado la posibilidad de eliminar, reducir o focalizar los subsidios, como fue el caso del subsidio de los combustibles para vehículos livianos y pesados, que fueron suprimidos en 2020.

La eliminación de los mismos, supondría para el Estado una medida rápida para “reactivar su economía” y reducir el déficit presupuestario debido a la deuda acumulada que tiene el Ecuador. Esta medida también evitaría que los recursos subsidiados actualmente sean aprovechados por los países vecinos debido al contrabando de GLP en las fronteras de Perú y Colombia (Villavicencio y Ruiz, 2019).

Igualmente, el GLP es un recurso no renovable y por ende sus reservas en cierto momento irán disminuyendo lo cual generará un creciente costo económico. Además al ser un combustible fósil la contaminación ambiental es inherente.

Por todo lo antes mencionado, se debe considerar el uso de una energía renovable.

1.2 METODOLOGÍA DEL TRABAJO

La metodología del trabajo se basó en la realización de encuestas a todos los residentes del Conjunto Entrerobles para determinar las características necesarias para el diseño de las instalaciones solares térmicas y el consumo de GLP en cada casa unifamiliar. La demanda y la cobertura solar mínima exigida se determinaron según lo establecido en la normativa

ecuatoriana NEC-HS-ER y la normativa española CTE DB-HE4. Para el diseño de la superficie captadora de la instalación solar térmica, se utilizó el método F-Chart, el cual es uno de los más utilizados y es el recomendado por el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE.

1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

El presente trabajo está estructurado de manera que el capítulo 1 es la introducción del mismo donde se realiza el planteamiento del problema y se describe brevemente la metodología utilizada. El capítulo 2 es el contexto del arte, en el que tras la explicación del sector energético en el Ecuador, especialmente en el sector residencial, se describen las instalaciones solares térmicas y se profundiza en el recurso solar del Ecuador y los diferentes proyectos y estudios en dicho aspecto. El capítulo 3 enumera los objetivos, general y específicos, e identifica la hipótesis del trabajo. En el capítulo 4 se tipifica la metodología seguida para el diseño de la instalación, la determinación de la viabilidad económica y de ahorro energético del proyecto. En el capítulo 5 se discuten los resultados y el capítulo 6 enumera las conclusiones y recomendaciones de trabajos futuros.

2 CONTEXTO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 SECTOR ENERGÉTICO ECUATORIANO

La energía es un eje fundamental para el desarrollo de las actividades cotidianas de los seres humanos, la misma se usa ya sea en el sector residencial como el industrial y es necesario para asegurar condiciones de confort térmico e iluminación (PLANAE, 2017).

Ecuador es un país en desarrollo, que debido al boom petrolero de los años 70 experimentó un cambio en el patrón de funcionamiento de su economía y por ende de consumo energético. Para abastecer la demanda, el país dispone de una matriz energética cuya fuente principal de energía son los combustibles fósiles (petróleo y gas natural), y como fuente principal de electricidad se cuenta principalmente con hidroeléctricas (Castro, 2011).

La matriz energética o mix energético de un país, representa de manera cuantitativa las energías primarias y secundarias ofertadas en el mismo, dentro de un periodo determinado. La energía primaria, denominada también energéticos primarios, es aquella que proviene de un recurso natural (renovable y no renovable) y que no ha tenido ningún proceso de conversión a mano del ser humano. Estas energías pueden ser: eólica, solar, hidráulica y los combustibles crudos (biomasa, carbón, petróleo, gas natural). (Roldán, 2012)

De acuerdo al Balance Energético Nacional 2018 elaborado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIEG), los energéticos primarios predominantes del Ecuador son los combustibles fósiles: petróleo y gas natural.

En la Figura 1, se observa la evolución de la producción de energías primarias en el periodo 2008-2018 dónde destaca el petróleo. Este fue el componente con mayor producción, con un promedio de 189 millones de barriles anuales. (IIGE, 2018).

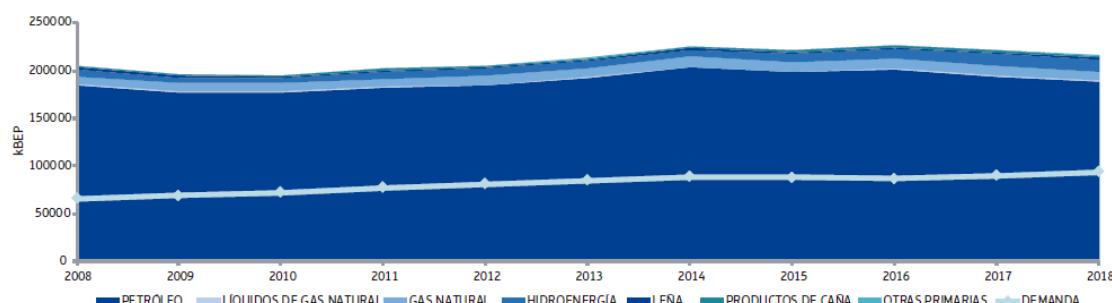


Figura 1. Evolución de la producción de energía primaria 2008-2018. (IIEG, 2018)

Como se puede apreciar en la Figura 1, la energía proveniente de fuentes renovables a pesar de tener un porcentaje menor a la proveniente de fuentes no renovables, ha tenido un crecimiento del 33 % durante el periodo mencionado, siendo su principal componente la hidroenergía conjuntamente, se observa que el Ecuador es un país exportador de energía, porque la demanda fue menor a la producción total de energéticos primarios del país (IIGE, 2018). A continuación, en la Figura 2, se observa la proporción de energéticos primarios en el país:

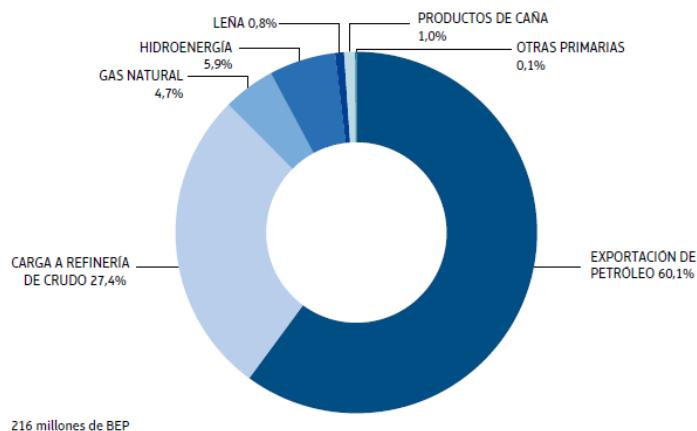


Figura 2. Estructura de oferta de energía primaria. (IIEG, 2018)

La energía secundaria, denominada también energéticos secundarios, es aquella que se obtiene a partir de la energía primaria que no puede ser aprovechada directamente y es transformada mediante medios técnicos, como por ejemplo la gasolina obtenida a partir del petróleo o la electricidad obtenida a partir de la energía hidroeléctrica. (Roldán, 2012)

En la Figura 3 se detalla la evolución de los energéticos secundarios en el Ecuador, en el período 2008-2018. Se observa que a partir del año 2009, la demanda energética del país superó a la producción de energía secundaria; por lo cual, a pesar de ser un exportador de energía primaria el país requiere de la importación de energéticos secundarios (derivados de petróleo) para cubrir la demanda energética sectorial.

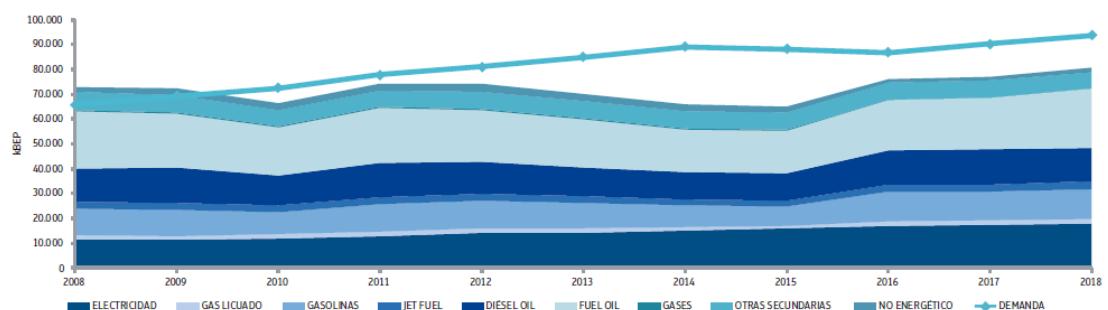


Figura 3. Evolución de la producción de energía secundaria 2008-2018. (IIEG, 2018)

No obstante, la producción de energía secundaria ha ido incrementando en un 10,6 % desde el 2008 a 2018, de 73 millones de BEP a 80 millones de BEP (IIGE, 2018). En la Figura 4, se observa la proporción de energéticos secundarios en el país, donde destacan el fuel oil, seguido por electricidad, diésel y gasolinas respectivamente.

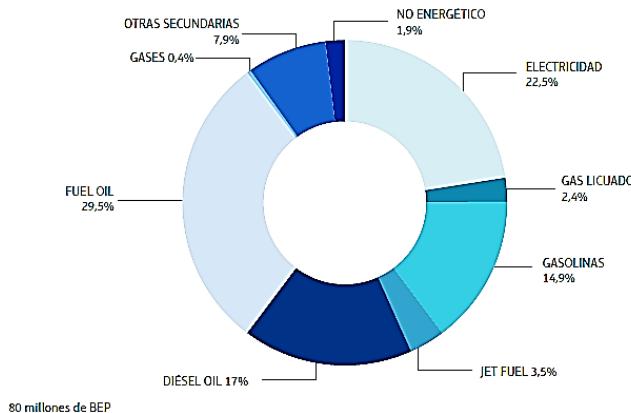


Figura 4. Estructura de oferta de energía secundaria. (IIEG, 2018)

Dentro de los energéticos secundarios, la electricidad es uno de los componentes que destaca más a nivel de generación. Ecuador cuenta con una matriz eléctrica diversificada, con fuentes renovables y no renovables, y enfocada a la expansión y crecimiento mediante el aprovechamiento de los recursos naturales (ARCONEL, 2020).

Para la generación de tipo renovable, se encuentran las centrales hidroeléctricas, fotovoltaicas, eólicas y termoeléctricas que consumen biomasa (combustión de seres vivos o desechos de plantas como el bagazo de caña) y biogás (residuos orgánicos). La generación de tipo no renovable utiliza combustibles fósiles, estas centrales térmicas de motores de combustión interna (MCI), turbogas y turbovapor (ARCONEL, 2018).

Tabla 1. Potencia efectiva y nominal de las centrales eléctricas por tipo e fuente

Tipo de fuente	Tipo de central	Potencia Nominal [MW]	Potencia Efectiva [MW]
Renovable	Hidráulica	5.066,40	5.036,43
	Biomasa	144,30	136,40
	Fotovoltaica	27,63	26,74
	Eólica	21,15	21,15
	Biogás (MCI)	7,26	6,50
No Renovable	Térmica (MCI)	2.011,44	1.613,60
	Térmica (Turbogas)	921,85	775,55
	Térmica (Turbovapor)	461,87	431,74

Fuente: ARCONEL, 2018

En cuanto a la evolución de la oferta de energía eléctrica, se tuvo un incremento del 53,6 % desde el 2008 con 19.109 GWh al 2018 con 29.350 GWh, debido a la puesta en marcha de los megaproyectos hidroeléctricos y a la reducción del 78,8 % en las importaciones de electricidad, de 500 GWh en 2008 a 106 GWh en 2018. Cabe destacar también que se incrementó las exportaciones de electricidad de 38 GWh en 2008 a 256 GWh en 2018 (IIGE, 2018).

2.2 USO RESIDENCIAL DE LA ENERGÍA

La demanda energética en Ecuador ha ido incrementado con el pasar de los años, de 66 millones BEP en 2008 a 94 millones BEP en 2018 (IIGE, 2018). La demanda energética varía de acuerdo al sector, como se observa en la Figura 5:

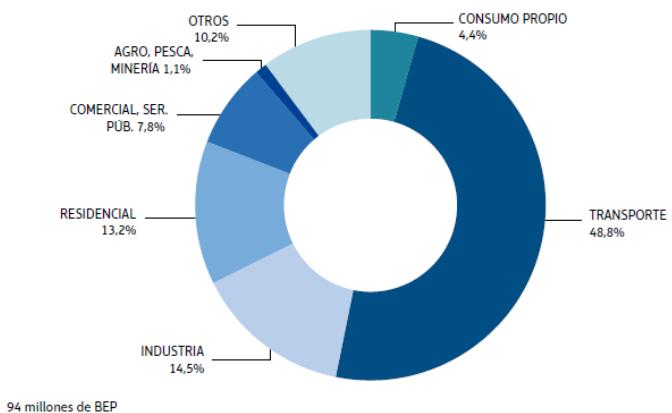


Figura 5. Demanda de energía por sector. (IIEG, 2018)

El sector del transporte es el más demandante, seguido por el industrial y en tercer lugar el residencial. Este último, tuvo una demanda promedio de 12 millones de BEP en 2018 (IIEG, 2018; Eras, 2016).

Al hablar de sector residencial se considera el consumo energético destinado al uso doméstico, que se utiliza en iluminación, calentamiento de agua, calefacción, conservación de alimentos, cocción, refrigeración y al uso de diferentes electrodomésticos (Eras, 2016).

Es necesario tener en cuenta que el consumo energético en el sector residencial en el Ecuador depende principalmente de dos factores: la situación geográfica y el poder adquisitivo de la población. El primer factor se debe a que las zonas geográficas del país poseen diferentes condiciones climatológicas. El segundo factor se refiere a la capacidad económica de las

personas para adquirir servicios y bienes energéticos de primera necesidad (Ríos, Guamán y Vargas, 2018; Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2012).

El consumo de energía en la costa, sierra, oriente y en la región insular son diferentes. Las regiones con un clima cálido-húmedo o templado (costa, amazonia e insular) poseen un consumo destacable por parte de los sistemas de refrigeración (de alimentos, aire acondicionado o ventiladores mecánicos), mientras que en las regiones con clima templado-frío (sierra), los sistemas de calentamiento de agua poseen un mayor peso en el consumo energético (Guamán, Guevara y Ríos, 2016)

El consumo del sector residencial ecuatoriano por fuente, se presenta en la Figura 6. En esta se observa que el GLP y la electricidad tienen un mayor consumo energético. Además cabe destacar que el sector residencial es el mayor demandante de GLP en el país, con 73,5 % del total consumido (IIGE, 2018; El Telégrafo, 2019).

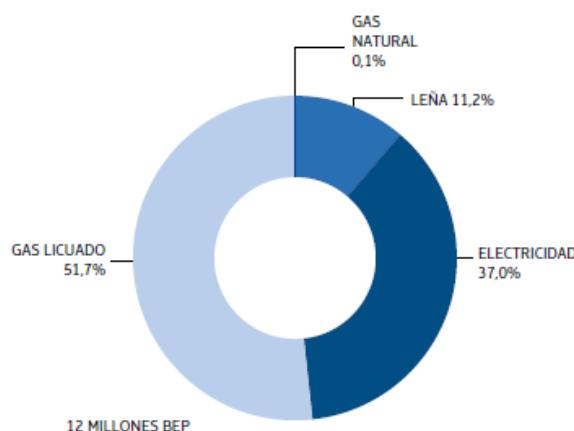


Figura 6. Consumo de energía por fuente en el sector residencial. (IIEG, 2018)

De acuerdo a los datos del INEC del último censo en 2010, el 91,0% de las familias ecuatorianas emplean GLP para actividades de cocción de alimentos y calentamiento de agua, el 7,5 % utilizan leña (este combustible es generalmente utilizado en las zonas rurales) y el 1,5 % restante corresponde al uso de: gas centralizado, electricidad, residuos vegetales y/o animales y otros combustibles como gasolina, kerosene o diésel (INEC, 2010).

2.3 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

El Gas licuado de petróleo (GLP) es un combustible no renovable, compuesto de hidrocarburos, entre los que se encuentran principalmente el propano y el butano en una

relación aproximada de 70:30 (por ciento en volumen), y contiene también pequeñas trazas de isobutano y etano (André y Vargas, 2005).

El GLP es un gas a condiciones normales de temperatura, por lo cual al someterlo a bajas presiones (60 y 120 psi) o enfriarlo, se transforma en líquido, lo cual facilita su manipulación, transporte y almacenamiento (contenedores de acero y/o aluminio). El GLP es inodoro e incoloro por lo que para detectar fugas, se le añade un agente fuertemente odorizante denominado mercaptano (WLPG, 2015; Osinergmin, 2010).

Como se expuso anteriormente, dentro del sector residencial el GLP es ampliamente utilizado para cocción y calentamiento de agua sanitaria, inclusive en sectores en donde la energía eléctrica no llega.

El alto consumo de GLP se debe a que este combustible posee varias ventajas: es limpio, eficiente, accesible y fácil de transportar. El GLP, aporta una combustión limpia con bajos o nulos valores de emisión de compuestos como NO_x, CO y/o partículas, además en comparación con otros combustibles, posee bajas emisiones de gases de efecto invernadero (Repsol, 2020; WLPG, 2015).

Aunado a lo antes mencionado, otro factor importante para el alto consumo del GLP en el Ecuador es que, en comparación con los países vecinos, dónde el precio referencial del GLP doméstico para un cilindro de 15 kg es de USD 19,08 (68140 pesos colombianos) en Colombia y USD 19,58 (67, 5 soles peruanos) en Perú, el precio oficial de GLP doméstico en Ecuador es sumamente bajo ya que este producto es subsidiado por el Estado en USD 0,500632 por kilogramo, sin incluir el 12% de IVA ni los costos de comercialización y distribución. El precio de venta al público de GLP doméstico en Ecuador es de USD 0,106667 por kg, por lo cual en depósitos se puede adquirir un tanque de 15 kg por USD 1,60 (ARCH, 2020).

El precio oficial antes mencionado incluye el 12 % de IVA, y es vigilado por la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH) en los depósitos. El costo a domicilio no está regularizada y varía en las diferentes ciudades del país entre USD 2,50 a USD 3,50 debido a que la tarifa abarca la entrega en camionetas, el ingreso al domicilio y la instalación del cilindro en la vivienda (El Telégrafo, 2019).

En 2018, según el Balance Energético Nacional, la oferta de GLP correspondió a 1.230 millones de kg, cuyos porcentajes se observan en la Figura 7:

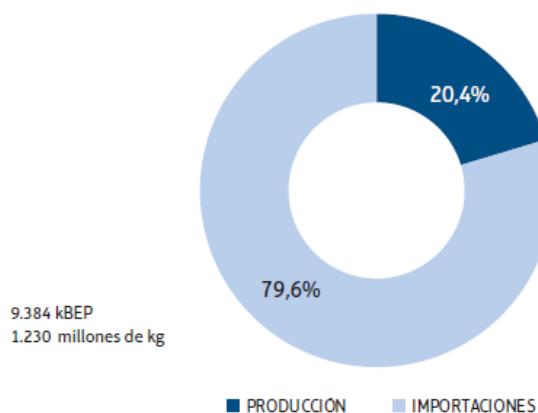


Figura 7. Oferta de GLP en Ecuador. (IIEG, 2018)

En el sector residencial se ha incrementado el consumo de GLP, de 668.070 miles de kg en 2008 a 839.386 miles de kg en 2018, con un mayor consumo en la provincia de Pichincha, seguida por la provincia del Guayas (IIGE, 2018).

El Gobierno, en los últimos años ha planteado políticas estratégicas para la sustitución de recursos fósiles por recursos renovables, mediante un proceso de sustitución en los hogares de cocinas a gas por cocinas de inducción para contribuir al cambio de la matriz energética del país. Hasta junio de 2016 se registró la instalación de alrededor de 400 mil cocinas a nivel nacional, lo cual evitó la emisión de 266 mil toneladas de CO₂ (Eras, 2016)

A pesar de las políticas implementadas por el gobierno, los subsidios del GLP se encuentran aún vigentes. Los subsidios a los derivados de petróleo en Ecuador, generan grandes impactos ambientales, ya que el bajo precio de los mismos incrementa su demanda. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) han incrementado un 32,2 % desde 2008, con un total de 39.720 kton CO₂ equivalentes en 2018, dónde el sector residencial representa un 8,4 % (IIGE, 2018; Samaniego *et al*, 2016).

Por todo esto, el Gobierno también se planteó el cambio de calefones a gas por sistemas eléctricos de calentamiento de agua, para así disminuir sustancialmente el uso de GLP en el sector residencial y minimizar tanto las importaciones, como el gasto en subsidios (Eras, 2016).

El cambio de matriz energética basada en los combustibles fósiles, es innegable en un futuro ya sea por su contribución inherente con el cambio climático que existe actualmente en el planeta Tierra o debido al agotamiento progresivo de dichos recursos no renovables. El uso de una energía basada en la utilización de recursos renovables para la producción de agua

caliente sanitaria, ayudaría a bajar el consumo de combustibles fósiles en el sector residencial, así como la reducción de GEI (López, 2020).

Igualmente, si el país realiza dicha transición, o en caso de que el Estado determine la necesidad de reducir el déficit presupuestario mediante la eliminación de subsidios, los precios de los combustibles fósiles incrementarían sustancialmente, por lo que el uso de equipos que funcionen con GLP, no serían tan rentables a nivel económico (Villavicencio *et al*, 2019).

Para la producción de agua caliente sanitaria en el Ecuador se puede utilizar electricidad generada a partir de energía primaria renovable. En el país se cuenta actualmente con 8 hidroeléctricas que han empezado a operar de manera progresiva desde el año 2015, estas son: Coca Codo Sinclair, Sopladora, Manduriacu, Minas-San Francisco, Delsitanisagua, Toachi Pilatón, Quijos y Mazar-Dudas (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020).

Los últimos tres proyectos aún no se encuentran en funcionamiento, pero para Agosto de 2020 presentan un avance global mayor al 80 %. En cuanto a energía eólica se cuenta con la Central Eólica Villonaco en Loja y el parque eólico Baltra en la isla de Baltra (CELEC EP, 2020; ELECGALAPAGOS S.A, 2020; Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2020).

Es necesario recalcar que la red de distribución eléctrica en el Ecuador no llega a todos los confines del territorio ecuatoriano, por lo que para poder reemplazar el GLP, se debe tener en cuenta que la energía renovable utilizada para la producción de agua caliente sanitaria debería generarse directamente en el punto de consumo para así poder usarla en todo el país como el mencionado combustible y además no debería contribuir a la emisión de GEI, siendo una alternativa la energía solar térmica (ARCONEL, 2018).

2.4 LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica o termosolar es una energía renovable que transforma la energía electromagnética de la radiación solar en energía térmica de un fluido (calor) para su aprovechamiento en varias actividades que varían según su tipo.

Existen 3 tipos de energía solar térmica, dependiendo de su temperatura que se detallan en la Figura 8.



Plantas de alta temperatura

- Generan electricidad a gran escala mediante la generación de vapor.
- Utilizan espejos parabólicos o heliotrópicos (espejos planos con seguimiento del sol en dos ejes).
- T trabajo: > 500 °C.



Plantas de media temperatura

- Concentración de radiación mediante espejos o lentes de refracción.
- Usadas para la producción de vapor para procesos industriales, desalinización del agua de mar, refrigeración y generación de electricidad a pequeña escala.
- T trabajo: 100 a 300 °C.



Instalaciones de baja temperatura

- Usadas en los sectores residencial e industrial para cubrir la demanda de ACS.
- Funcionan mediante el calentamiento de una superficie, el cual es transferido a un fluido
- T trabajo: < 100 °C

Figura 8. Tipos de energía solar térmica (Planas, 2011)

Como se puede observar en la Figura 8, las actividades pueden ir desde el calentamiento de piscinas, producción de ACS, calefacción y refrigeración de absorción hasta la transformación del calor en energía mecánica para la producción de energía eléctrica, lo cual se denomina energía solar termoeléctrica (Rufes, 2010).

Las instalaciones de baja temperatura se pueden utilizar en el sector residencial. Un sistema solar térmico para la producción de agua caliente sanitaria para uso doméstico consta de los componentes que se describen a continuación:

Los subsistemas principales son:

- **Sistema de captación:** es el encargado de transformar la radiación solar en energía térmica al calentar un fluido que circula por los captadores solares. Para ello, los captadores solares se basan en dos principios: el efecto invernadero y el efecto de cuerpo negro (Sánchez, 2020).

El elemento fundamental del captador es el absorbéndor que está formado por tuberías en serie soldadas a una lámina, generalmente de cobre o aluminio. La longitud de onda corta de los rayos solares traspasa por la cubierta transparente del captador e incide en el absorbéndor, donde una pequeña parte es reflejada y el resto es captada por el mismo. Posteriormente, una pequeña parte de dicha radiación es emitida y el resto se cede al fluido que circula por el

circuito, transformándose en calor. El fluido que circula por la tubería, va aumentando de esta forma la energía térmica del absorbéndor, el cual durante este proceso, va aumentando su energía y emite radiación de onda larga que no puede escapar debido a que la cubierta es opaca, lo cual reduce la pérdida de calor y de energía por convección (Sánchez, 2020; Agencia Andaluza de la Energía, s.f.).

Existen varios tipos de captadores, pero los más destacables son los de placa plana y los de tubos de vacío, siendo los primeros más comúnmente utilizados en la producción de ACS en el sector residencial debido a su coste (Rodríguez, 2020).

- **Sistema de intercambio:** es el encargado de transferir el calor del fluido caloportador del circuito primario (circuito entre los colectores y el intercambiador de calor) al agua del circuito secundario (Círculo entre el intercambiador de calor y el acumulador) (MIDUVI, 2020).
- **Sistema de acumulación:** es el encargado de almacenar el agua caliente para el consumo, es indispensable ya que existen desfases temporales entre la producción de ACS (periodos con radiación solar) y el consumo de la misma (INEN, 2009; Sánchez, 2020).
- **Sistema de apoyo:** es el encargado de aportar energía convencional, ya sea mediante un combustible o electricidad, para complementar y/o suplir la contribución solar en casos de avería, poca radiación solar o demanda superior a la prevista, permitiendo la continuidad del suministro de ACS (INEN, 2009).

Los subsistemas secundarios son:

- **Sistema hidráulico:** es el encargado del movimiento del fluido caliente por el captador hasta el sistema de acumulación. Está conformado por bombas, válvulas, tuberías, etc.
- **Sistema de regulación y control:** es el encargado de actuar frente a los riesgos del sistema, ya sea debido a sobrecalentamiento, congelación, etc., lo cual permite asegurar el correcto funcionamiento del equipo y el uso de la energía auxiliar.

En la Figura 9, se presenta un diagrama de los componentes antes mencionados:

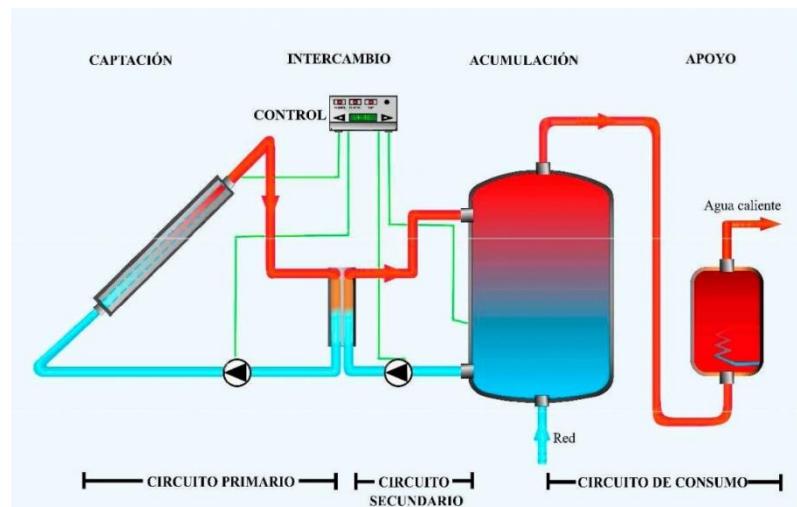


Figura 9. Componentes de una instalación solar térmica (Energías Renovables, 2015)

Las instalaciones solares térmicas, para su funcionamiento dependen de cada uno de los componentes antes descritos, pero su principal limitante es el recurso solar que posee la ubicación donde son instaladas.

2.5 RECURSO SOLAR EN ECUADOR

El Ecuador, es un país ubicado al noroeste de América del Sur y se encuentra delimitado al norte por Colombia, por el Océano Pacífico al oeste y por Perú al este y al sur. El Ecuador continental se encuentra ubicado:

Tabla 2. Ubicación Ecuador continental

Latitudes	Longitudes
1°30'N (Carchi)	72°0'W (Salinas)
5°0'S (Zamora)	75°10'W (Orellana)

Fuente: INEN, 2009

La ubicación antes mencionada permite que Ecuador sea un país privilegiado en cuanto al recurso solar, debido a la poca variabilidad del Sol durante todo el año, especialmente en las zonas cercanas a la línea equinoccial donde la trayectoria casi perpendicular del sol (casi cenital) genera sombra de poca longitud (Rojas y Morales, 2019; INEN, 2009).

Como se observa en la Figura 10, la trayectoria solar sobre la línea ecuatorial presenta un recorrido solar igual tanto en verano como en invierno con variaciones sutiles de su inclinación entre $\pm 23,5^\circ$ norte (21 de marzo al 21 de septiembre) o sur (22 de septiembre al 20 de marzo),

por lo que el Sol se desplaza 47° durante el año siendo los mínimos los solsticios (de verano: 21 de junio y de invierno: 23 de diciembre) y los máximos los equinoccios (Rojas *et al.*, 2019).

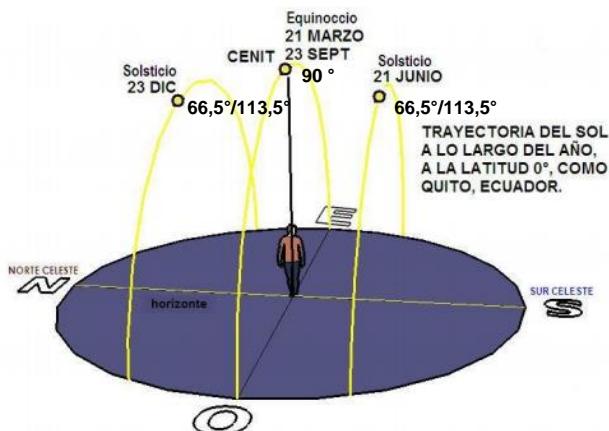


Figura 10. Trayectoria del Sol a lo largo del año a latitud 0° , como Quito, Ecuador (Lara y Fierro, 2012)

El país se encuentra en la Línea Equinocial y cuenta con un promedio de 12 horas de sol durante el día (6h00 – 18h00 casi todo el año), por lo que el nivel de insolación diario se mantiene casi constante a lo largo del año, consecuentemente la homogeneidad que se presenta permitiría aprovechar el recurso renovable de forma sostenible (INEN, 2009).

A partir del año 2008, se observa un mayor interés hacia este recurso, ya que el “Atlas de radiación solar del Ecuador con fines de generación eléctrica” fue publicado por parte del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el cual utilizó datos satelitales del NREL (National Renewable Energy Laboratory) de los Estados Unidos (INEN, 2009).

En el año 2019, la Escuela Politécnica Nacional, contrastó y ratificó esa información mediante mediciones de irradiación de las estaciones meteorológicas de la Secretaría de Medio Ambiente Distrito Metropolitano de Quito, del Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIEG) y del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (Vaca-Revelo y Ordoñez, 2019).

El mapa solar de Ecuador continental elaborado por el CONELEC se presenta en la Figura 11. En éste se aprecia que la región Sierra presenta mayor incidencia de radiación solar, en especial la ciudad de Quito, con un promedio $4,99 \text{ kWh/m}^2.\text{día}$ de irradiación solar de acuerdo a las mediciones recolectadas en un periodo de 4 años por la Universidad de Massachusetts (INEN, 2009).

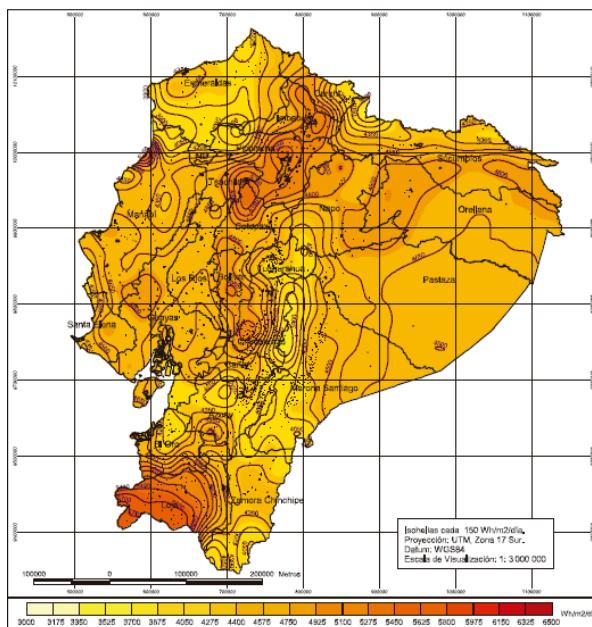


Figura 11. Irradiación global promedio en Ecuador continental. (CONELEC, 2008)

Con el mapa solar, presentado anteriormente, y los datos del “Global Horizontal Irradiation of the World Bank Group” se presenta las siguientes zonas del país en kWh/m².dia.

Tabla 3. Zonas del Ecuador según irradiación solar

Zonas	Irradiación solar [kWh/m ² .dia]
Zona I	H < 3,8
Zona II	3,8 ≤ H < 4,2
Zona III	4,2 ≤ H < 4,6
Zona IV	4,6 ≤ H < 5,0
Zona V	5,0 ≤ H < 5,4
Zona VI	H ≥ 5,4

Fuente: MIDUVI, 2020

En Ecuador, por parte del Estado se han impulsado algunos proyectos para el aprovechamiento del recurso solar mediante la instalación de parques fotovoltaicos en las islas Galápagos.

Tabla 4. Proyectos fotovoltaicos en las islas Galápagos

Proyecto	Instalación
Fotovoltaico isla Baltra	200 kWp
Fotovoltaico isla Puerto Ayora	1,50 MWp
Híbrido isla Isabela	1,23 MWp (planta térmica a biodiesel) 1,10 MWp (solar fotovoltaica)

Fuente: Peláez et al, 2015; ELECGALAPAGOS S.A, 2020.

Dichos proyectos pertenecen al programa “Cero Combustible Fósiles en Galápagos”, donde se aprovecha el hecho de que las islas presentan un promedio de 5,09 kWh/m².día de irradiación solar.

Existen además, sistemas aislados en la isla Isabela (0,01 MW), Santa Cruz (0,01 MW), Floreana (0,01 MW), San Cristóbal (sistemas aislados 0,01 MW). Otras instalaciones corresponden al proyecto “Cero Viviendas Sin Luz”, como el localizado en la provincia de Morona Santiago: Huamboya (0,37 MW) y varias parroquias de difícil acceso (Peláez *et al*, 2015).

Se cuenta también con diferentes proyectos a nivel privado en cuanto a energía solar fotovoltaica y energía solar térmica, de esta última se tiene proyectos para proveer de agua caliente solar a comunidades de las provincias de Cotopaxi, Chimborazo y Bolívar del páramo ecuatoriano mediante un programa promovido por la Alianza en Energía y Ambiente con la Región Andina junto con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y la entrega de colectores solares planos a las familias financiadas por el bono de la vivienda por parte del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) y el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) (Sopelia, 2016).

2.6 SITUACIÓN EN ECUADOR DE LA ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

El desarrollo del Atlas Solar del Ecuador sirvió de base para el desarrollo de normativa ecuatoriana para proyectos que involucren energía solar térmica como es el caso de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN XX: 2009 de Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar para Uso Sanitario en el Ecuador y la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2507:2016 de Rendimiento Térmico de Colectores Solares; Requisitos y Métodos de Ensayo.

En 2020, el MIDUVI, a través de la Subsecretaría de Hábitat y Espacio Público, en el marco del Eje de Habitabilidad y Salud expidió el capítulo de Energías Renovables en la Normativa ecuatoriana de construcción correspondiente a NEC-HS-ER: Sistemas Solares Térmicos para Agua Caliente Sanitaria (ACS) – Aplicaciones Menores a 100 °C (MIDUVI, 2020).

Las antes mencionadas normativas se encuentran basadas en normativas y estándares internacionales, además se encuentran fundamentadas en la experiencia española y sus normativas, por lo cual tienen similitudes con el Código Técnico de la Edificación Documento Básico Ahorro de Energía Contribución Solar Mínima de Agua Caliente Sanitaria en CTE DB-HE4.

En el país, como se expuso en el numeral anterior se han realizado diferentes proyectos en cuanto a la energía solar térmica, especialmente en las islas Galápagos que cuenta con un elevado recurso solar con respecto a Ecuador continental, por lo cual el MEER y el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) realizan conjuntamente con la Empresa Eléctrica Provincial Galápagos (ECGALAPAGOS S.A.) talleres para el sector hotelero para promover el uso de “Tecnologías Solares para el Calentamiento de Aguas Sanitarias” (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2020).

En Ecuador continental, además de los proyectos comentados, existen diferentes estudios realizados a nivel de tesis de pregrado, artículos científicos y normativa, que han permitido llegar a diferentes acotaciones con respecto a la instalación de captadores solares en el país:

En primera instancia, para aprovechar la mayor cantidad de energía solar durante todo el año, y permitir la limpieza del captador solar; el ángulo de inclinación del mismo debe ser mayor a 5° y hasta 15°. Además, la orientación del colector deberá ser hacia la línea equinoccial, por lo cual se orientará al norte o al sur dependiendo de la provincia en la que se ubique el proyecto, para obtener la mayor energía anual del sol (Álvarez, 2017).

De acuerdo a pruebas piloto con bancos de prueba instalados en el Laboratorio de Energías Alternativas y Eficiencia Energética de la Facultad de Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito se determinó que las normas españolas UNE acerca de Energía Solar Térmica pueden ser adaptadas a la realidad de Quito-Ecuador, además que los cálculos teóricos se alinean a la realidad pero se deben considerar las pérdidas en los accesorios y en el tanque de almacenamiento (Peñaherrera y Sarzosa, 2012).

Al analizar la viabilidad económica de la implementación de un sistema solar térmico para ACS acoplado a un sistema centralizado de ACS de GLP en el edificio Kytzia en Quito se pudo establecer que el acoplamiento de un sistema solar sería sostenible y cubriría una fracción solar del 81 % sin disminuir el espacio destinado para las áreas comunales (Ballagán y Pico, 2018).

Para el cantón Cuenca, ubicado al sur del país, cuyos habitantes utilizan generalmente sistemas de producción de agua caliente sanitaria a base de GLP se ha determinado teóricamente que mediante la incorporación de un sistema de calentadores solares de tubos de vacío se podría generar un aporte energético del 40,92 al 44,33 %, y que para garantizar la dotación constante de ACS necesitarían aplicar un sistema híbrido entre aporte solar y

energía eléctrica o GLP, lo que significaría una disminución del 44 % de CO₂ (Calle y Tinoco, 2018).

2.7 FACTIBILIDAD DE IMPLANTACIÓN DE PROYECTOS DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN VIVIENDAS DEL ECUADOR

Como se pudo observar en los apartados anteriores, el Ecuador goza de diferentes características que permitirían la implementación de sistemas de producción de ACS a partir de energía solar, especialmente en Quito a nivel continental.

Para poder visualizar de mejor manera y condensado los pros y contras, se presenta a continuación un análisis FODA del mismo:

Tabla 5. Análisis FODA de la implementación de sistemas de producción de ACS a partir de energía solar en viviendas de Quito

Fortalezas	Oportunidades
Latitud a la que se encuentra Quito El recurso solar no tiene grandes fluctuaciones a lo largo del año. Las instalaciones solares tienen una vida útil media de 20 años. Energía autónoma Su funcionamiento no contribuye a la emisión alguna de GEI. Otorga un valor adicional a la vivienda. Se genera directamente en el punto de consumo.	Variación de los costos de los combustibles fósiles. Cambio de la normativa de subvención de los combustibles fósiles. Formación de nuevos empleos y expertos en la energía solar térmica. Desarrollo económico positivo con nuevas oportunidades de mercados tanto a nivel nacional como internacional.
Debilidades	Amenazas
Precios de los combustibles fósiles bajos debido a que son actualmente subvencionados. Apreciable inversión inicial en la instalación solar. Falta de conocimiento del funcionamiento de estas alternativas por las personas en general. Disponibilidad del recurso únicamente por el día.	Cambios climáticos y condiciones meteorológicas Falta de incentivos por parte del Estado. Poca accesibilidad de los equipos en el país. Importación de los equipos por parte de pocas empresas en el país.

Fuente: Sánchez, 2020

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, los sistemas solares térmicos en el país aún no son muy difundidos, en su gran mayoría por la política de subvención que se mantiene desde los años 70 pero a la vez ésta es una oportunidad tanto en el campo laboral como en la generación de conocimiento y concientización del cambio climático en las personas. El

Ecuador goza de recurso sol que aún no ha sido explotado a nivel continental y que debe ser tomado en cuenta para lograr un futuro descarbonizado.

Otros países del mundo, especialmente en Europa han desarrollado diversas políticas para el aprovechamiento de energías renovables más limpias ya que debido a la falta de recursos naturales se ven arrinconados a maximizar lo que poseen, por lo cual a partir de su experiencia se puede trasladar los conocimientos al Ecuador y cambiar la situación actual de a poco y lograr el cambio en la matriz energética.

3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS DEL TRABAJO

3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente TFM, es realizar el diseño de una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en el conjunto residencial Entrerobles ubicado al norte de Quito-Ecuador.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos para lograr la consecución del objetivo general del presente proyecto se describen a continuación:

- Establecer los equipos y accesorios necesarios para la implementación del sistema de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria.
- Verificar la viabilidad de la energía solar térmica para producción de ACS según las características existentes en la región y la capacidad /cantidad de energía generada.
- Determinar la viabilidad económica del proyecto mediante un presupuesto general de la instalación, componentes, mantenimiento y ahorro de energía.

3.3 HIPÓTESIS DEL TRABAJO

El conjunto residencial Entrerobles ubicado en el norte de Quito-Ecuador, al implantar una instalación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria podrá disminuir en un 80 % el consumo de fuentes de energía fósil, es decir, el uso de GLP para agua caliente sanitaria y aprovechar el recurso solar que posee el Ecuador. Siendo rentable económicamente, permitiendo a su vez un aumento de la conciencia ambiental por parte de los condóminos del conjunto para disminuir el consumo del recurso agua y cumpliendo la normativa ecuatoriana aplicable en 2020.

4 DESARROLLO DEL PROYECTO

Los planos del Proyecto Habitacional Entrerobles, elaborados en abril de 2004 fueron aprobados en agosto de 2004. La construcción del mismo terminó en 2008, tras lo cual el proyecto pudo ser habitado.

El conjunto residencial Entrerobles, consta de 17 viviendas unifamiliares, que cuentan con calefones a gas (GLP) como sistema de producción de agua caliente sanitaria. Los calefones fueron instalados al momento de la construcción, por lo cual fue necesario realizar un estudio de las condiciones actuales para determinar cambios en la edificación o en el sistema de producción de agua caliente sanitaria mediante encuestas a todos los residentes del conjunto.

Las preguntas realizadas fueron las siguientes:

Tabla 6. Variables generales encuestadas en el conjunto Entrerobles

Nº	Pregunta
1	Nº de casa
2	Propietario o arrendatario
3	Nº de años como residentes
4	Nº personas que residen en la vivienda
5	Nº de dormitorios de la vivienda
6	Sistema de ACS utilizado
7	Actividades en las que utiliza ACS
8	Disposición a usar energía renovable para ACS

Fuente: Elaboración propia

Tras lo cual, si la respuesta de la pregunta Nº 6 era calefón, se procedía a realizar las siguientes preguntas:

Tabla 7. Variables específicas encuestadas en el conjunto Entrerobles

Nº	Pregunta
1	Fuente de energía del calefón
2	Mantenimiento del calefón
3	Frecuencia del mantenimiento
4	Problemas presentados con el calefón
5	Gasto promedio mensual del sistema de ACS (electricidad o GLP)

Fuente: Elaboración propia

Con la encuesta realizada se determinó que en 3 viviendas se realizaron cambios arquitectónicos, el 64,70 % de las familias han habitado en el conjunto desde sus inicios y que el 88,24 % son propietarios de las casas. Además se comprobó que el 100,00 % continúa usando calefón a gas como equipo de producción de ACS. Los datos de la encuesta se desarrollan a profundidad en el apartado de resultados.

Asimismo, los planos arquitectónicos y de la red de agua potable fueron facilitados por parte de la Administración 2020, para de esta manera poder determinar la necesidad de realizar modificaciones eléctricas, de plomería o estructurales en el área destinada para la instalación.

4.1 REQUISITOS DEL DISEÑO

Debido a que este proyecto se basa en la utilización de energía solar para ACS, fue necesario definir datos meteorológicos y geográficos a partir de datos históricos obtenidos en estaciones meteorológicas, y también la caracterización de la edificación.

4.1.1 Localización

Como se ha mencionado anteriormente, la edificación estudiada es un conjunto residencial localizado en la parroquia urbana “El Condado” en el norte de la ciudad de Quito, provincia de Pichincha. Se encuentra en la región sierra del Ecuador.

El mismo se lo puede observar a continuación mediante imagen satelital:



Figura 12. Conjunto residencial Entrerobles. (Google Maps, 2020)

El terreno está rodeado por: Conjunto habitacional de tres plantas (noroeste), Conjunto habitacional de tres plantas (sureste), calle (suroeste) y mecánica automotriz (noreste). Las coordenadas a continuación corresponden al punto céntrico del conjunto residencial

Tabla 8. Ubicación del proyecto

Nombre Del Proyecto	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
Conjunto Residencial Entrerobles	0°6'34.9" S	78°30'19.2"W	2835

Fuente: Google Maps, 2020; The World Bank, 2020.

4.1.2 Condiciones climáticas

La ciudad de Quito posee un clima subtropical de tierras altas, cuya zona norte se caracteriza por tener temperaturas más altas que el centro y el sur. Además, Quito posee un clima primaveral durante los 365 días del año, pero con climas más cálidos los meses de junio, julio, agosto y septiembre (Peñaherrera *et al*, 2012).

Para determinar las condiciones climatológicas, se investigó la información de la estación de monitoreo Cotocollao de la Secretaría del Ambiente de Quito, correspondiente a la administración zonal donde se localiza el conjunto residencial.

Tabla 9. Ubicación de la estación meteorológica

Estación meteorológica					
Código	Nombre de la estación	Latitud	Longitud	Altura (msnm)	Institución propietaria
COT	Cotocollao	0°6'28"S	78°29'50"W	2793	Administración zonal la Delicia

Adaptación de Secretaría del Ambiente DMQ, 2020

A partir de los datos de temperatura media diarios por hora en el periodo de 2015 a 2020 obtenidos de los datos históricos de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) 2004 – 2020, se obtuvo la siguiente información para el sector de estudio presentada en la Tabla 10.

Se establece que la temperatura promedio fue de 14,36 °C con mínimos absolutos de 2 °C y máximos de 30 °C. La variación de las temperaturas durante el año son pocas, los meses de agosto y septiembre son los más cálidos, mientras que el mes de enero es el más frío. Las precipitaciones están en un promedio de 2,05 mm y la humedad relativa está en un promedio de 68,78 % (Secretaría del Ambiente DMQ, 2020). Los vientos predominantes en los últimos años del 2008 al 2012 según el INAMHI son en dirección norte y noreste, cambiando su dirección de sur-norte a partir del mes de agosto.

Tabla 10. Temperatura media Estación meteorológica Cotocollao

Mes	Temperatura media [°C]
Enero	14,19
Febrero	14,38
Marzo	14,37
Abril	14,37
Mayo	14,42
Junio	14,46
Julio	14,24
Agosto	14,68
Septiembre	14,51
Octubre	14,09
Noviembre	14,26
Diciembre	14,38

Adaptación de Secretaría del Ambiente DMQ, 2020

A partir de los datos de la estación meteorológica estudiada en el periodo de 2015-2020, en cuanto a la radiación solar en W/m² se observó que se registra radiación solar desde las 6:00 hasta las 18:00 con valores mínimos de 0,01 W/m² (6:00) y máximos de 1246,60 W/m² (11:00-13:00). Se observó que los meses de agosto y septiembre presentan mayor radiación solar (Secretaría del Ambiente DMQ, 2020).

Se trabajó con los datos de temperatura de agua de red para la ciudad de Quito establecidos por la norma NTE INEN XX: 2009 de Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar para Uso Sanitario en el Ecuador.

Tabla 11. Temperatura de la red

Mes	Temperatura red [°C]
Enero	11,6
Febrero	11,9
Marzo	11,8
Abril	11,8
Mayo	11,9
Junio	12,1
Julio	11,8
Agosto	12,2
Septiembre	11,8
Octubre	11,6
Noviembre	11,5
Diciembre	11,5

Adaptación de INEC, 2009

Para establecer la zona climática tanto para el HE-4 (normativa española) como para el NEC-HS-ER (normativa ecuatoriana), se utilizó los datos del “Global Horizontal Irradiation of the World Bank Group” (ANEXO I), establecida como la fuente principal de datos según la normativa ecuatoriana. El dato de radiación global horizontal correspondió a 1970 kWh/m² por año, siendo de 5,40 kWh/m² por día correspondiente a una zona climática VI según a lo establecido en la Tabla 3.

Es necesario recalcar que para que sea viable el uso de dichos sistemas existe una contribución solar mínima que depende de la zona climática del proyecto, de acuerdo a la Tabla 3 del NEC-HS-ER se tiene:

Tabla 12. Contribución solar mínima para la obtención de ACS para la Zona VI

Demanda total ACS del edificio [L/día]	Contribución solar mínima
50-5.000	65 %
5.001-10.000	70 %
>10.000	75 %

Fuente: MIDUVI, 2020.

4.1.3 Descripción de la edificación

El conjunto residencial Entrerobles consta de: área verde recreativa, guardianía, casa comunal y 17 viviendas unifamiliares adosadas. Como se observa en la Figura 12, las viviendas se encuentran separadas en 3 bloques, además son de 3 diferentes tipos: casas tipo A, tipo B y tipo C, cuyas características son las siguientes:

Tabla 13. Tipos de casa Conjunto Residencial Entrerobles

Casa A1		Casa A2		Casas B		Casas C	
Piso	Área [m ²]	Piso	Área [m ²]	Piso	Área [m ²]	Piso	Área [m ²]
PB	41,81	PB	41,81	PB	41,40	PB	51,49
P1	54,37	P1	54,37	P1	49,89	P1	51,14
P2	9,42	P2	9,42	P2	11,62	Jardín	33,11
Terraza	7,91	Jardín 1	7,91	Terraza	9,01	-	-
Jardín	72,32	Jardín 2	17,13	Jardín	16,98	-	-

Elaboración propia

Las viviendas difieren en cuanto a la distribución y áreas de los diferentes espacios, pero todas las casas cuentan con 3 dormitorios ubicadas en la P1 de acuerdo a los planos. Adicionalmente se observa que se dota de ACS al lavadero, lavadora, lavabo en la PB y dos

duchas y dos lavabos en la P1. Las otras áreas comunes del conjunto residencial no cuentan con ACS y son las detalladas en la Tabla 14.

Tabla 14. Áreas comunes

Edificación	Área [m ²]
Salón comunal	44,70
Guardianía	5,00
Zona verde recreativa	291,74

Elaboración propia

Para el caso de estudio se optó por una tipología de instalación “todo individual”, lo cual constituye un diseño común de la estructura de los captadores y los circuitos hidráulicos, pero con sistemas de captación, acumulación, intercambio y de apoyo individuales para cada vivienda (ASIT, 2010).

Para ello, se separó en dos grupos a las casas de acuerdo a su diseño, el primer grupo de viviendas constituido por: A1, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11 y A2, mientras que en el segundo grupo se encontraban las casas: C1, C2, C3 y C4.

Esta tipología de instalación se eligió para aprovechar el equipamiento que las viviendas ya poseen y así reducir gastos, por lo cual el diseño contempló la utilización de la red de tubería de agua caliente desde el calefón a los diferentes puntos de la casa que acceden a ACS, los medidores de agua y el calefón de gas, que sirvió como sistema de apoyo en el diseño.

Es necesario recalcar, que la tipología de instalación elegida se encontró delimitado por la superficie requerida para cada diseño. El área comunal del conjunto no contaba con suficiente espacio en cubierta para colocar el campo de captadores necesarios para satisfacer la demanda de ACS en el conjunto, además este diseño requería de un extensivo trabajo de plomería para colocar la red de tubería que permita llevar el ACS a cada una de las viviendas.

Debido a que el sistema individual seleccionado involucra un gasto particular para cada casa, es necesario tener en cuenta equipos con un menor costo y que ocupen un espacio más reducido.

Razón por la cual se optó por los sistemas de termosifón, este sistema solar térmico se destaca por su sencillez ya que ésta es la ventaja fundamental de este tipo de sistemas, que

viene dada porque es un sistema prefabricado todo en uno que constan de uno o dos captadores, un acumulador y los accesorios correspondientes.

Este tipo de sistema se basa en la circulación del fluido mediante la diferencia de densidades debido a la diferencia de temperaturas del agua. Esto permite que este sistema se autorregule y además no necesita alimentación eléctrica para la circulación del fluido en el circuito primario, por lo que no necesita bomba de circulación. Estos sistemas son más económicos que los sistemas por circulación forzada, pero poseen ciertos inconvenientes asociados a las pérdidas térmicas al exterior y al deterioro de los equipos debido a que están expuestos a la intemperie (GEEF MINERGIA PNUD, 2014).

Por lo antes mencionado, se determinó que el espacio en cubierta designado para el montaje de los colectores solares fuese el siguiente:

En el grupo conformado por las casas A1, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11 y A2, se optó por un diseño con los colectores solares en el tejado mediante integración arquitectónica, por lo cual el ángulo de inclinación corresponde al ángulo del tejado y la orientación del mismo. La inclinación se obtuvo de los planos arquitectónicos (escala 1:100) que fue de 15° y su orientación fue sureste 200° con respecto al norte solar, es decir, azimut -20° .

En las Figuras 13 y 14, se presenta los planos de las casas tipo A y B:

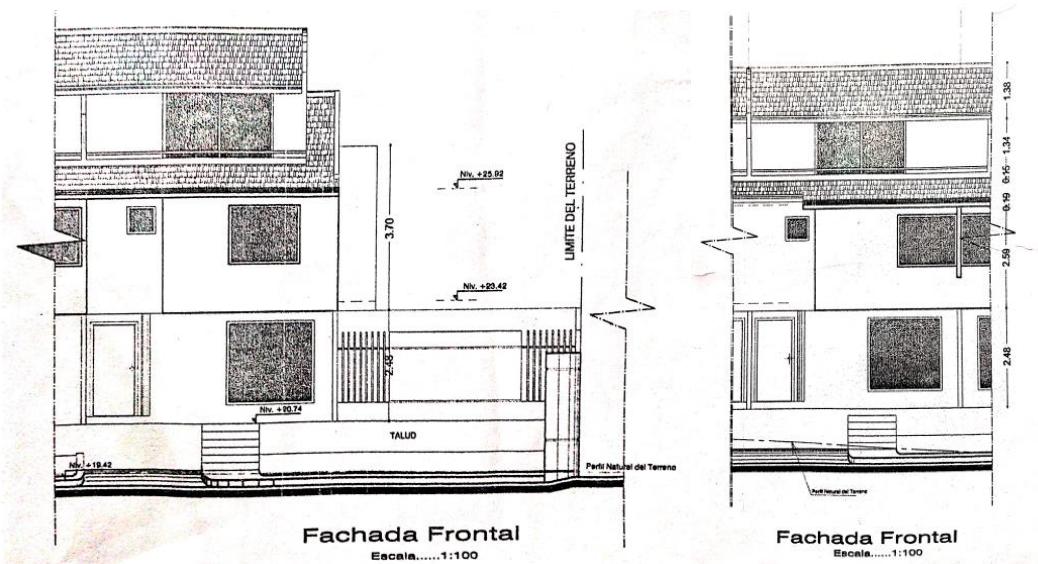


Figura 13. Fachada frontal casas tipo A (derecha) y casas tipo B (izquierda) (Entrerobles, 2004)

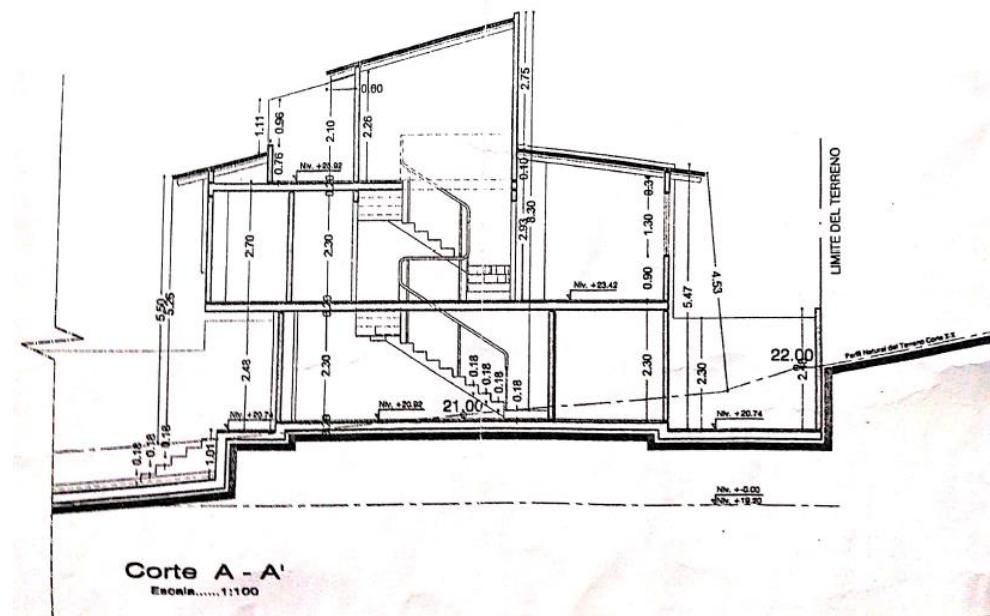


Figura 14. Corte A-A' casas tipo A y B (Entrerobles, 2004)

En las Figuras 15 y 16, se presentan fotografías laterales del lugar de emplazamiento:



Figura 15. Techo Casa A2

Dentro de este grupo, tras inspección visual y la entrevista realizada se observó que la casa A1, presentó un cambio arquitectónico en la P2, pero el mismo no afectó el ángulo ni orientación del lugar de emplazamiento de la instalación. Como se puede apreciar en la Figura 16.



Figura 16. Techo Casa A1

En el grupo conformado por las casas C1, C2, C3 y C4, se optó por un diseño con los colectores solares ubicados en la azotea. Debido a que la superficie es plana fue posible el seleccionar el ángulo de inclinación y a la orientación, que en este caso correspondió a 15º de inclinación y orientación Sur, para favorecer la producción de ACS en los meses más fríos.

En la Figura 17, se presenta los planos de las casas tipo C:

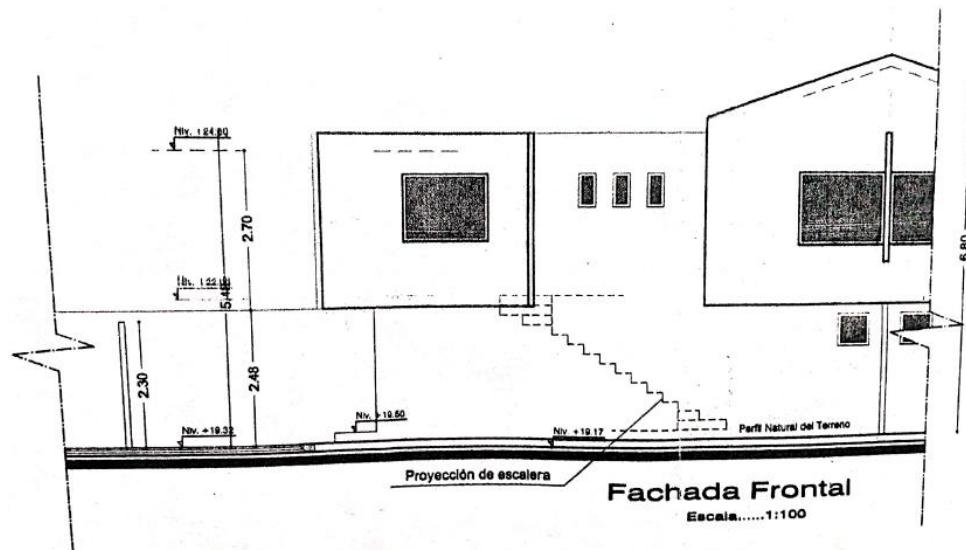


Figura 17. Fachada frontal casas tipo C (Entrerobles, 2004)

En la Figura 18, se presenta la fotografía del lugar de emplazamiento:



Figura 18. Azotea Casa C3 y C4

De acuerdo a diferentes estudios, las desviaciones en un 15 % hacia el sureste o suroeste no afectan a la energía térmica útil captada por el equipo solar (Iglesias, 2017)

En las fotografías antes presentadas se observa que las edificaciones circundantes no generan sombras significativas en los tejados o azoteas del Conjunto Habitacional Entrerobles.

4.1.4 Demanda de agua caliente sanitaria

Para el cálculo de la demanda de referencia de ACS se utilizó lo establecido por el Anexo F del CTE DB-HE4. Se determinó que la normativa ecuatoriana establecida en el NEC-HS-ER se encuentra basada en el mencionado documento. Por lo antes mencionado, se tomó el valor establecido de 28 L/ día por persona de ACS a 60 °C para viviendas unifamiliares.

$$V_{ACS} = V_{referencia} * N^o_{personas} \quad (1)$$

Para el número de personas se utilizó la Tabla A del mencionado anexo, el cual establece que:

Tabla 15. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial

Nº dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥ 6
Nº personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Fuente: CTE DB-HE4, 2013

Por lo cual según el numeral 4.1.3., todas las casas poseen, según los planos arquitectónicos de 2004, tres dormitorios. El volumen de ACS correspondió a la demandada por 4 personas de acuerdo a la Tabla 15 y sería de:

$$V_{ACS} = 28 \frac{L}{\text{día}} * 4 = 112 \frac{L}{\text{día}}$$

Igualmente se comparó con el número de personas residentes en el Conjunto Entrerobles, de acuerdo a un análisis de permanencia dentro de los 12 años de existencia del mismo, de acuerdo a las encuestas realizadas y los datos históricos del mismo ya que no en todas las viviendas residen 4 personas.

4.2 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

4.2.1 Parámetros y datos de entrada

Los parámetros y datos de entrada necesarios para el diseño de la instalación de ACS mediante energía solar térmica se encuentran diferenciados en dos grupos, los que especifican las condiciones de uso y los climáticos. En lo que se refiere a las condiciones de uso, se encuentran especificadas en el numeral 4.1.4., mientras que las condiciones climáticas se encuentran en el numeral 4.1.2.

Para los datos de irradiación solar mensuales, se utilizaron los datos del programa Meteonorm 8.0.0 (22.10.2020) en su versión gratuita, debido a que únicamente se dispone de los valores promedio de irradiación solar para la ciudad de Quito (centro y norte) para el año 2009 en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN XX: 2009, mientras que las estaciones meteorológicas y los datos obtenidos de “The Global Bank” ofrecen únicamente datos de radiación normal directa mensual.

El programa Meteonorm se encuentra mencionado dentro de la normativa ecuatoriana de construcción NEC-HS-ER y permite acceder a datos históricos de irradiación y temperatura, en caso de no contar con datos de un punto en específico este realiza la interpolación de datos satelitales geoestacionarios (Meteonorm, 2020).

Al considerar una inclinación diferente a la horizontal se corrigió los valores de irradiación solar mensual obtenidos en el programa mediante:

$$G_{di(x^\circ)} = k * G_{di(0^\circ)}$$
(2)

Los valores de k vienen dados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN XX: 2009, con lo cual a latitud 0°, los valores mensuales son los presentados en la Tabla 16:

Tabla 16. Valores de k a latitud 0° a diferente inclinación

Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5°	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97	0,96	0,97	0,98	1,00	1,01	1,02	1,02
10°	1,03	1,01	0,99	0,96	0,93	0,92	0,93	0,95	0,99	1,02	1,04	1,04
15°	1,04	1,01	0,97	0,92	0,88	0,87	0,88	0,92	0,97	1,02	1,05	1,05
20°	1,04	1,00	0,95	0,88	0,83	0,81	0,83	0,88	0,95	1,01	1,05	1,06
25°	1,03	0,99	0,92	0,84	0,77	0,75	0,77	0,83	0,92	0,99	1,04	1,06

Fuente: INEN, 2009

Por ejemplo para las casas tipo C los valores de k correspondieron a los de 15°, por lo que en el mes de Enero se tendría:

$$G_{di(15^\circ) \text{ene}} = 1,04 * 168 \frac{kWh}{m^2} = 174,72 \frac{kWh}{m^2}$$

4.2.2 Cálculo de la demanda

Para el cálculo de la demanda energética se utilizó la siguiente fórmula:

$$DE_{mes} = \dot{m}_{ACS \text{ diaria}} * \rho * C_p * (T_{ACS} - T_{red}) * N_{días \text{ del mes}}$$
(3)

Dónde:

Tabla 17. Parámetros para el cálculo de la demanda

	Parámetro	Unidades
DE_{mes}	Energía mensual demandada por la instalación	kWh/mes
$\dot{m}_{ACS \text{ diaria}}$	Caudal másico de ACS	m³/día
ρ	Densidad del agua a 25 °C	kg/m³
C_p	Calor específico del agua a 25 °C	kcal/kg°C
T_{ACS}	Temperatura Agua Caliente Sanitaria	°C
T_{red}	Temperatura del agua de red	°C
$N_{días \text{ del mes}}$	Nº de días del mes	-

Fuente: NEC-HS-ER, 2020

Los datos de la densidad del agua y calor específico se encuentran referidos a 25 °C, mientras la misma se mantenga en estado líquido. Sus valores son los siguientes:

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3} ; Cp = \frac{1kcal}{kg°C}$$

La demanda energética en enero de una familia de cuatro personas fue de:

$$DE_{enero} = 0,112 \frac{m^3}{día} * 1,16 \times 10^{-3} \frac{kWh}{kcal} * 1000 \frac{kg}{m^3} * 1 \frac{kcal}{kg°C} * (60 - 12,19) °C * 31 \frac{días}{mes}$$

$$DE_{enero} = 192,54 \frac{kWh}{mes}$$

4.2.3 Cálculo de la superficie de captación

El cálculo de la superficie de captación es de suma importancia y se ve restringida al espacio aprovechable, ya que es un proyecto existente y por ende debe adaptarse al espacio y geometría disponible, lo cual se detalló en el numeral 4.1.3.

Para el cálculo de este parámetro se optó por el método F-chart, este modelo de análisis y dimensionamiento de sistemas solares térmicos es suficientemente exacto para largas estimaciones, ya que no se está realizando estimaciones de tipo diario o semanal sino mensual.

El método F-chart utiliza factores de corrección para ajustarse a las necesidades reales de la vivienda estudiada.

Para determinar la fracción solar se tiene:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3 \quad (4)$$

Para valores de:

$$0 < D_1 < 3 \text{ y } 0 < D_2 < 18$$

El parámetro D_1 representa la relación de la energía absorbida al mes por el captador solar plano y la energía mensual demandada por la instalación, la cual fue calculada en el numeral anterior y ahora es representada como L_{mes} .

$$D_1 = \frac{EAbsorbida_{mes}}{L_{mes}} \quad (5)$$

$$D_1 = \frac{S_c * \eta_o * MAI * Fc_{int} * Gdm * N_{días\ del\ mes}}{L_{mes}} \quad (6)$$

Dónde:

Tabla 18. Parámetros para el cálculo de D_1

Parámetro	
S_c	Superficie del captador
Gdm	Radiación diaria media mensual sobre la superficie de captación por unidad de área
η_o	Factor de eficiencia óptica del captador solar plano
MAI	Modificador del ángulo de incidencia (0,96 para superficie transparente sencilla y 0,94 para superficie transparente doble)
Fc_{int}	Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador (valor sugerido de 0,95)
$N_{días\ del\ mes}$	Nº de días del mes

Fuente: IDAE, 2009

El parámetro D_2 representa la relación de la energía perdida al mes por el captador solar plano y la energía mensual demandada por la instalación.

$$D_2 = \frac{EPerdida_{mes}}{L_{mes}} \quad (7)$$

$$D_2 = \frac{S_c * K_{global} * Fc_{int} * (100 - T_{amb}) * Fc_{acum} * Fc_{ACS} * 24 * N_{días\ del\ mes}}{L_{mes}} \quad (8)$$

Dónde:

Tabla 19. Parámetros para el cálculo de D_2

Parámetro	
S_c	Superficie del captador
K_{global}	Coeficiente global de pérdidas del captador
Fc_{int}	Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador (valor sugerido de 0,95)
T_{amb}	Temperatura media mensual del ambiente durante las horas diurnas
Fc_{int}	Factor de corrección por almacenamiento
Fc_{int}	Factor de corrección para ACS
$N_{días del mes}$	Nº de días del mes

Fuente: IDAE, 2009

Para el factor de corrección por almacenamiento se tiene:

$$Fc_{acum} = \left(\frac{\left(\frac{V_{acum}}{S_c} \right)}{75 \frac{L}{m^2}} \right)^{-0,25} \quad (9)$$

Para poder resolver la ecuación anterior, es necesario conocer el volumen de acumulación. Para ello se tiene en cuenta la siguiente condición impuesta en el CTE:

$$50 \frac{L}{m^2} < \frac{V_{acum}}{S_c} < 180 \frac{L}{m^2}$$

Factor de corrección para ACS se tiene:

$$Fc_{ACS} = \frac{11,6 + 1,18 T_{ACS} + 3,86 T_{red} - 2,32 T_{amb}}{(100 - T_{amb})} \quad (10)$$

Para el cálculo de los parámetros antes mencionados, fue preciso elegir el captador solar a utilizar para así conocer sus características técnicas.

En Ecuador, la oferta de captadores solares planos es limitada y existen pocas empresas distribuidoras. Para este proyecto se eligió el sistema solar de termosifón VITOSOL 111-F de la empresa Alfa Solar, cuyos datos técnicos se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Datos técnicos sistema solar de termosifón VITOSOL 111-F

Parámetro	Valor
Capacidad interacumulador	150 [L]
Superficie bruta	2,18 [m ²]
Superficie de absorción	2,01 [m ²]
Anchura	1056 [mm]
Altura	2066 [mm]
Profundidad	70 [mm]
Rendimiento óptico	81,3 %
Coeficiente de perdida de calor k1	3,675 W/ m ² ·K
Coeficiente de perdida de calor k2	0,037 W/ m ² ·K
Peso	40 [kg]
	45 [kg]

Fuente: Ficha técnica VITOSOL 111-F, 2016

En la Figura 19, se presenta un esquema del sistema solar con sus componentes:

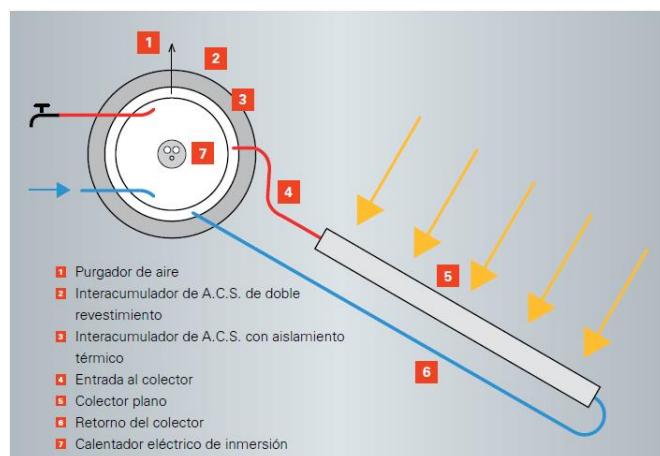


Figura 19. Esquema Sistema solar de termosifón VITOSOL 111-F (Ficha técnica VITOSOL 111-F, 2016)

En la Figura 20, se presenta una fotografía del sistema solar de termosifón seleccionado:

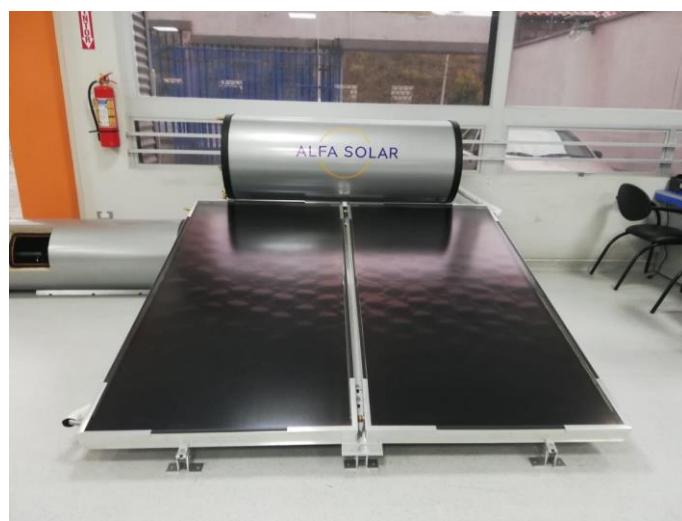


Figura 20. Sistema solar de termosifón VITOSOL 111-F de 300 L

Con los datos ya calculados se procedió a obtener la energía útil mensual que es la cantidad de energía de la demanda mensual satisfecha por la instalación solar para la producción de ACS de las viviendas mediante la siguiente ecuación:

$$EU_{solar,mes} = f_{mes} * L_{mes} \quad (11)$$

Y finalmente se calculó la fracción solar anual mediante la siguiente ecuación:

$$f_{anual} = \frac{\sum_1^{12} EU_{solar,mes}}{\sum_1^{12} V_{ACS,mes}} \quad (12)$$

Es necesario tener en cuenta que los datos de fracción solar mensuales y anual deben ser siempre mayores al valor de contribución solar mínima para la obtención de ACS para la Zona VI que depende de la demanda total de ACS de la instalación.

En caso de ser insuficiente, el cálculo anterior se realiza el cálculo para n+1 captadores solares y así sucesivamente hasta cumplir mensualmente con dicho valor (ANEXO VI).

Con los anteriores datos definidos, se calcula el área bruta de captación óptima:

$$A = N^o_{captadores} * Superficie\ de\ apertura \quad (13)$$

Con los datos y ecuaciones antes mencionadas, se obtuvieron los siguientes valores para las instalaciones con una inclinación de 15°. Cabe mencionar, que los mismos dependen del número de personas y su respectivo consumo diario

Tabla 21. Energía demandada mensual satisfecha por la instalación solar para la producción de ACS para 2 personas

Mes	EU Solar [kWh]	Contribución Solar	Contribución Apoyo
Enero	102,89	1,06	-
Febrero	81,34	0,93	0,07
Marzo	93,80	0,97	0,03
Abril	88,37	0,94	0,06
Mayo	92,86	0,96	0,04
Junio	88,88	0,95	0,05
Julio	94,08	0,97	0,03
Agosto	106,53	1,11	-

Mes	EU Solar [kWh]	Contribución Solar	Contribución Apoyo
Septiembre	96,48	1,03	-
Octubre	85,63	0,88	0,12
Noviembre	84,66	0,90	0,10
Diciembre	91,39	0,94	0,06
Consumo al día		0,056 [m ³ /día]	
# Captadores	1	Superficie captación	2,01 [m²]

Elaboración propia

Tabla 22. Energía demandada mensual satisfecha por la instalación solar para la producción de ACS para 3 personas

Mes	EU Solar [kWh]	Contribución Solar	Contribución Apoyo
Enero	142,58	0,98	0,02
Febrero	110,35	0,84	0,16
Marzo	127,95	0,88	0,12
Abril	120,02	0,85	0,15
Mayo	126,58	0,87	0,13
Junio	121,18	0,87	0,13
Julio	128,44	0,88	0,12
Agosto	149,75	1,04	-
Septiembre	133,02	0,94	0,06
Octubre	115,12	0,79	0,21
Noviembre	113,97	0,80	0,20
Diciembre	123,75	0,84	0,16
Consumo al día		0,084 [m ³ /día]	
# Captadores	1	Superficie captación	2,33 [m²]

Elaboración propia

Tabla 23. Energía demandada mensual satisfecha por la instalación solar para la producción de ACS para 4 personas

Mes	EU Solar [kWh]	Contribución Solar	Contribución Apoyo
Enero	205,78	1,06	-
Febrero	162,67	0,93	0,07
Marzo	187,61	0,97	0,03
Abril	176,74	0,94	0,06
Mayo	185,72	0,96	0,04
Junio	177,76	0,95	0,05
Julio	188,15	0,97	0,03
Agosto	213,07	1,11	-
Septiembre	192,96	1,03	-
Octubre	171,26	0,88	0,12
Noviembre	169,32	0,90	0,10
Diciembre	182,77	0,94	0,06

Mes	EU Solar [kWh]	Contribución Solar	Contribución Apoyo
Consumo al día		0,112 [m³/día]	
# Captadores	2	Superficie captación	4,02 [m²]
Elaboración propia			

Tabla 24. Energía demandada mensual satisfecha por la instalación solar para la producción de ACS para 5 personas

Mes	EU Solar [kWh]	Contribución Solar	Contribución Apoyo
Enero	238,92	0,98	0,02
Febrero	185,13	0,85	0,15
Marzo	214,63	0,88	0,12
Abril	201,38	0,86	0,14
Mayo	212,31	0,88	0,12
Junio	203,22	0,87	0,13
Julio	215,42	0,89	0,11
Agosto	250,54	1,04	-
Septiembre	222,97	0,95	0,05
Octubre	193,26	0,79	0,21
Noviembre	191,36	0,81	0,19
Diciembre	207,72	0,85	0,15
Consumo al día		0,140 [m³/día]	
# Captadores	2	Superficie captación	4,02 [m²]
Elaboración propia			

4.2.4 Cálculo de pérdidas por orientación, inclinación y sombras

Según el lugar de emplazamiento, orientación e inclinación seleccionados en el numeral 4.1.3., se tuvo las siguientes pérdidas por orientación e inclinación.

La inclinación de diseño de los captadores solares en todos los diseños fue de $\beta = 15^\circ$. El azimut de los colectores es de 0° para el caso de las casas tipo C, mientras que para el caso de las casas tipo A y B, al estar en superposición arquitectónica se encuentran con la orientación de las mismas (azimut de -20°).

Con eso se tiene que para:

$$15^\circ < \beta < 90^\circ$$

El porcentaje de pérdidas se calcula mediante:

$$P \% = 100 * [1,2 \times 10^{-4}(\beta - \phi)^2 + 3,5 \times 10^{-5} * \alpha^2] \quad (14)$$

Dónde:

α = desviación respecto al Sur.

β =Inclinación real de los captadores.

ϕ = inclinación óptima (uso anual=latitud).

Con los datos antes mencionados se obtuvo que el porcentaje de pérdidas para las casas tipo C fue de 2,7 % y para las casas tipo A y B este valor fue de 4,1 %. Dichos valores se encuentran por debajo del límite máximo estipulado en normativa de 5 %. Como se mencionó anteriormente, la inclinación óptima en Quito-Ecuador no puede ser igual a la latitud (0°), sino que para permitir la limpieza del captador solar el ángulo de inclinación del mismo debe estar entre 5° y 15° .

El proyecto no presenta pérdidas por sombras significativas porque no existe actualmente, dentro de las edificaciones circundantes, ninguna que pueda generar sombras sobre los captadores solares en el lugar designado como se puede observar en las Figuras 12, 15, 16 y 18. Tampoco se presentaría sombras debidas a los propios captadores ya que es una tipología “todo individual”, y el lugar designado supone la superposición arquitectónica o sobre un lugar plano, por lo que no generan sombras entre ellos.

4.2.5 Cálculo y dimensionamiento de los equipos

El sistema solar de termosifón VITOSOL 111-F está conformado por captador solar de placa plana, tanque interacumulador de acero con recubrimiento térmico (esmaltado de dos capas Ceraprotect) y calentador eléctrico de inmersión de 3 [kW]. Para el dimensionamiento de los equipos se determina si los mismos cumplen la normativa establecida, el acumulador y el intercambiador se encuentran en un solo equipo (interacumulador), pero su análisis se hará por separado.

4.2.5.1 Acumulador

En el apartado anterior, mediante el método F-chart se calculó el volumen del acumulador y se definió que debía cumplir la condición impuesta en el HE4-CTE:

$$50 \frac{L}{m^2} < \frac{V_{acum}}{S_c} < 180 \frac{L}{m^2}$$

Cabe recalcar que se debe ajustar a lo encontrado en el mercado, por lo cual el volumen del acumulador puede ser de 150 [L], 200 [L] o 300 [L]. Con estos valores ya definidos, se comprueba que en todos los casos se mantienen dentro de los límites especificados por la norma:

Tabla 25. Relación volumen del acumulador y superficie de captación

Parámetro	Valor		
$Nº$ captadores	1	1	2
S_c [m^2]	2,01	2,33	4,02
V_{acum} [L]	150	200	300
$\frac{V_{acum}}{S_c}$	74,63	85,84	74,63

Elaboración propia

4.2.5.2 Intercambiador

El sistema elegido, al trabajar con un interacumulador de camisa compacto, lo cual quiere decir que el intercambiador se encuentra incorporado al acumulador mediante un doble revestimiento que permite la transmisión del calor desde el fluido caloportador de los captadores al agua sanitaria. De acuerdo el HE4-CTE, dicha instalación debe cumplir la relación:

$$\frac{\text{Superficie útil de intercambio}}{\text{Superficie total de captación}} \geq 0,15$$

Para el caso la superficie útil de intercambio viene dada por las dimensiones del interacumulador, que puede ser calculada mediante:

$$\text{Superficie útil de intercambio} = 2 * \pi * r * h + 2 * \pi * r^2 \quad (15)$$

Tabla 26. Relación superficie útil de intercambio y superficie total de captación

Parámetro	Valor		
Capacidad interacumulador [L]	150	200	300
Superficie útil de intercambio [m^2]	2,61	3,12	3,73
Superficie total de captación [m^2]	2,01	2,03	4,02
Relación	1,30	1,53	0,93

Elaboración propia

4.2.5.3 Tuberías y aislamientos

Para las tuberías del circuito primario y de consumo, el material seleccionado fue el cobre, debido a diversas características enumeradas a continuación:

- Resistencia a la corrosión interior como exterior (debido a agentes exteriores como aire, humedad o elementos constructivos que entran en contacto con él).
- Cómoda manipulación e instalación.
- Pueden resistir sin reventar en una o más heladas.
- Pérdida de carga lineal inferior a otros materiales debido a su baja rugosidad

(MIDUVI, 2020)

Mientras que para las tuberías del circuito de alimentación de agua fría al intercambiador se seleccionó tuberías de polipropileno debido a que:

- Menor pérdida de presión debido a que sus paredes interiores son lisas
- Son ligeras, de fácil transporte, manipulación, almacenaje e instalación.
- No transmiten ningún sabor u olor al fluido

(MIDUVI, 2020)

Al ser un sistema termosifón, este es un sistema compacto que cuenta con accesorios incorporados al interacumulador. El sistema Vitosol 111 F posee una bolsa de aire integrada por lo que no necesita un vaso de expansión en el circuito solar.

A continuación se expone el dimensionamiento y/o caracterización de los diferentes circuitos de tubería:

Círculo primario

El circuito primario, se encuentra ya incorporado por el fabricante. Consta de dos tuberías de $\frac{3}{4}$ " protegidas por aislante térmico, una del retorno solar y otra de impulsión solar por donde circula el fluido caloportador. El fluido que circula por el circuito primario del sistema puede ser el agua de la red, agua desmineralizada o agua con aditivos. De acuerdo a la ficha técnica del sistema solar seleccionado, este opera con *Tyfocor L* que es líquido a base de base de propilenglicol, por lo que no es perjudicial para la salud, y funciona como un concentrado anticorrosivo que protege a las instalaciones de las bajas temperaturas (anticongelante).

De acuerdo al CTE, se debe proteger el sistema primario 5 °C de la temperatura mínima del lugar de emplazamiento, por lo que según lo especificado en el numeral 4.1.2., la temperatura

mínima absoluta según registros en la ciudad de Quito es de 2 °C, por lo cual el fluido caloportador en este caso debe mantenerse líquido a temperaturas de -3 °C, lo cual se comprueba con las características del mismo que se presentan a continuación:

Tabla 27. Parámetros para el cálculo de D_1

Tycofor L	Efecto anticongelante	Densidad a 20 °C
25 % vol.	-10,7 °C	1024 kg/m ³
30 % vol.	-14,0 °C	1029 kg/m ³
35 % vol.	-17,6 °C	1034 kg/m ³

Fuente: Ficha técnica Tycofor L, 2020

Como se observó en la tabla anterior, el medio portador de calor puede ser utilizado ya que evita el riesgo que el circuito se congele y permite que el acumulador pueda situarse en el exterior, sobre la cubierta sin inconvenientes.

Como se mencionó anteriormente, al ser un sistema solar de termosifón, la circulación del fluido caloportador desde los captadores al interacumulador sucede de forma natural gracias a la diferencia de temperatura y sin la necesidad de una bomba de circulación. Por lo cual, el circuito hidráulico debe ser corto y lo más simple posible.

De acuerdo a lo establecido por el NEC-HS-ER de 2020, la velocidad de circulación del fluido caloportador en el circuito primario debe ser inferior a 2,0 m/s y con un valor mínimo de 0,3 m/s para evitar la entrada de aire. Mientras que para las tuberías el diámetro mínimo corresponde a $\frac{1}{2}$ ".

Círculo secundario

Debido a que en esta instalación el acumulador y el intercambiador son un equipo, no existe circuito secundario.

Círculo de consumo

En los sistemas que poseen dos captadores solares (interacumulador de 300 [L]), es necesario implementar en el circuito de consumo un sistema antiquemaduras, ya que el ACS puede exceder de los 60 °C. Este sistema de mezcla automática consta de una mezcladora termostática automática capaz de soportar la máxima temperatura posible en el interacumulador de 95 °C.

Como se mencionó anteriormente, desde el sistema termosifón hasta el sistema de apoyo, la tubería seleccionada fue tubería de cobre de $\frac{1}{2}$ " (presentación de 6 m con valor unitario de USD 22,00)

Como se mencionó en el numeral 4.1.3, se aprovecha la red de tuberías que las viviendas actualmente poseen, por lo cual las tuberías desde el calefón a los puntos dentro de la vivienda donde se utiliza ACS no se dimensionan.

Círculo de alimentación

En el lugar asignado para el sistema solar, no se cuenta con ninguna red de tubería. Al ser una vivienda unifamiliar, la presión de agua de red es de 30-20 m.c.a., suficiente para la distribución por toda la edificación por lo que no es necesaria la instalación de un grupo de presión que eleve la misma. Como se mencionó anteriormente, para este circuito se seleccionó tubería de polipropileno plastigama de $\frac{3}{4}$ " (presentación de 6 m con valor unitario de USD 7,50).

A continuación, en la Figura 21 se presenta el esquema del circuito hidráulico en total y además se describe la cantidad de accesorios en cada circuito y los costes referenciales.

Se debe destacar que los precios fueron obtenidos a partir de la visita a diversas ferreterías cercanas al proyecto y la consulta con técnicos (plomeros).

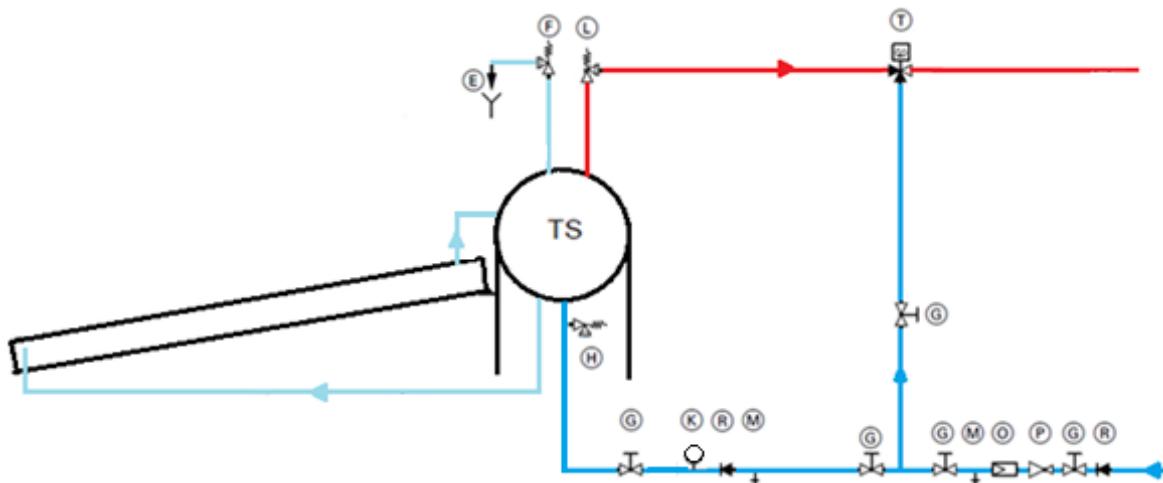


Figura 21. Circuito hidráulico (Adaptación ficha técnica VITOSOL 111-F, 2016)

Tabla 28. Elementos circuito hidráulico

Símbolo	Elemento	Cantidad	Valor unitario
—	Circuito primario	Incorporado de fábrica	
—		6 m (casas C)	
—	Circuito de consumo	13 m (casas B)	USD 22,00
—		4 m (casas A)	
—		6 m (casas C)	
—	Circuito de alimentación	13 m (casas B)	USD 7,50
—		4 m (casas A)	
E	Purgador de aire	1	Incorporado por fabricante
F	Válvula de seguridad de agua caliente sanitaria	1	Incorporado por fabricante
G	Válvula de cierre (de bola)	3	USD 5,00
H	Válvula de seguridad de membrana	1	Incorporado por fabricante
K	Manómetro	1	USD 5,00
L	Válvula de seguridad solar	1	Incorporado por fabricante
M	Válvula de vaciado	2	USD 2,30
O	Filtro de agua sanitaria	1	USD 11,25
P	Válvula reductora de presión	1	USD 32,00
R	Válvula antirretorno (check)	2	USD 19,00
T	Mezcladora termostática	1	USD 126,85

Elaboración propia

4.2.5.4 Sistema de apoyo

Como fue mencionado en el numeral 4.2.4., el sistema solar de termosifón VITOSOL 111-F cuentan con un calentador eléctrico de inmersión de 3 [kW] y 230 [V] incorporado en el interacumulador como sistema de apoyo. Dicho accesorio, opera a un voltaje superior al normalmente utilizado en Ecuador, dónde las conexiones eléctricas utilizadas son de 110 [V], y que solo ciertos equipos como las cocinas de inducción requieren de conexiones eléctricas de 220 [V].

La conexión para la resistencia eléctrica significaría por ende de un costo extra de instalación cuyo valor (sin incluir mano de obra) oscilaría entre USD 90,0 a USD 150,0 si son 6 m de cableado. Además si existe un mal funcionamiento de dicho accesorio, esto conllevaría a

pérdidas energéticas importantes. Asimismo, si el consumo es realizado en momentos del día sin incidencia de la luz solar (atardecer y noche) es muy posible que el sistema active a la resistencia eléctrica por disminución de temperatura y caliente todo el volumen de agua acumulado, lo cual conllevaría un bajo rendimiento de la instalación ya que durante las horas con radiación solar el sistema no necesitaría circulación del fluido caloportador para calentar el sistema.

Es por lo cual, como se contempló en el numeral 4.1.3, para el sistema de apoyo, se mantuvo el calefón a gas que actualmente cada vivienda cuenta por lo cual no se necesita dimensionarlo. El mismo se presenta a continuación, con sus respectivas especificaciones:



Figura 22. Calefón a GLP

Tabla 29. Especificaciones técnicas de calefón Conjunto Entrerobles

Parámetro	Valor
Tipo de combustible	GLP
Consumo calorífico nominal	22,4 [kW]
Caudal de agua caliente	10 [L/min]
Presión de agua	0,3 – 10,0 [bar]
Potencia útil nominal	17 [kW]

Elaboración propia

Como se mencionó en el numeral anterior, el calefón de gas se conectaría en serie con la tubería de consumo de la instalación solar, este sistema se observa a en la Figura 23. En este diseño, la tubería de entrada de agua fría del calefón (izquierda) fue intercambiada por la tubería con ACS proveniente del sistema solar. Adicional a esto se añadió una tubería de

bypass que une la tubería de entrada y la de salida del calefón y se colocó tres válvulas de cierre tipo bola, una en la tubería de salida del agua del calefón (1), otra en la tubería de alimentación de agua a la entrada del calefón (2) y una en el bypass (3). Durante el funcionamiento normal del sistema (cuando la demanda de ACS, sea cubierta por el sistema solar térmico) la válvula 1 y 2 se encontrarían cerradas mientras que la válvula 1 se encontraría abierta. En caso de que se necesite contribución del sistema de apoyo las válvulas pasarían a su estado opuesto mediante acción del mismo propietario.

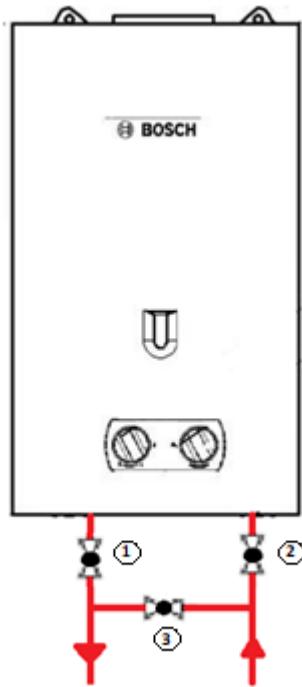


Figura 23. Circuito del sistema de apoyo (Elaboración propia)

4.3 ANÁLISIS DE SOLUCIONES

4.3.1 Elección de los elementos a instalar

Los elementos a instalar se determinaron de acuerdo a los equipos inherentes del sistema termosifón y los necesarios para los otros sistemas requeridos:

Los sistemas solares de termosifón compactos para la producción de ACS incluyen:

- Estructura.
- Captadores solar de placa plana (1 para el sistema de 150 y 200 [L], 2 para el sistema de 300 [L]).

- Tanque interacumulador de acero con recubrimiento térmico (capacidades de 150, 200 o 300 [L]).
- Calentador eléctrico de inmersión de 3 [kW].
- Tubería de cobre $\frac{1}{2}$ " y accesorios para hasta 2 m de distancia entre el termosifón y punto de consumo.
- Válvula de seguridad de agua caliente sanitaria de presión y temperatura, 10 bar (1 MPa)/90 °C.
- Válvula de seguridad solar 3 bar (0,3 MPa) y purgador de aire.
- Válvula de seguridad de membrana, modelo MSW $\frac{3}{4}$ ".
- Ánodo de magnesio.
- Ganchos de fijación

Para los sistemas termosifón de 300 [L] se tiene un sistema de protección ant quemaduras para ACS que incluye:

- Mezcladora termostática Marca resol de $\frac{3}{4}$ ".
- Tubería de cobre $\frac{1}{2}$ " y accesorios para conexión de la válvula termostática.

Para el entramado de tuberías desde el lugar asignado hasta el sistema de apoyo:

- Tubería de cobre $\frac{1}{2}$ " y accesorios (descritos en la Tabla 26). Se considera también la necesidad de codos, acoples y reducciones de campana de $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ".

4.3.2 Estructura soporte y adecuación del lugar asignado

Un aspecto muy importante a mencionar, es que las viviendas del conjunto Entrerobles fueron edificadas con planchas de hormigón armado, por lo cual la estructura de las casas soportaría el peso del sistema sin ningún inconveniente y no es necesario la construcción de estructuras extras de soporte.

El lugar asignado fue diferente para las casas tipo A y B, y las casas tipo C, como fue explicado en el numeral 4.1.3., por ello en ambos casos primero fue necesario caracterizar la adecuación del lugar asignado para el montaje.

La cotización de los equipos y la ficha técnica del termosifón, especificaron que las estructuras de soporte son proporcionadas por el mismo fabricante, sin embargo es necesario el verificar que son capaces soportar cargas, esfuerzos y que evite la acumulación de agua lluvia,

además de que se encuentren correctamente selladas y en correcto estado antes de la instalación.

Cabe recalcar que en los dos casos, es necesario que la instalación de las estructuras de soporte permita la fácil manipulación de las conexiones externas para poder realizar el mantenimiento y cambio de accesorios en caso de ser necesario como el ánodo de sacrificio de magnesio o si se utiliza la resistencia eléctrica como sistema de apoyo (no recomendado).

4.3.2.1 *Superficie inclinada*

Para las casas tipo A y B, en el diseño se optó por la superposición arquitectónica de los captadores solares, por lo que la inclinación coincide con la del tejado. Para ello primero se debe retirar las tejas del área de emplazamiento e impermeabilizar el mismo.

Se procede luego a colocar alimentación de 110 [V] con su respectiva protección eléctrica para los sistemas de control del sistema. Para asegurar el sistema con el tejado se utilizan ganchos proporcionados por la misma casa comercial para evitar corrosión galvánica.

El número de ganchos depende del tamaño del sistema siendo de 6 ganchos para sistemas de 150 [L] y 200 [L], y de 10 ganchos para sistemas de 300 [L].

Además es necesario el incorporar la red de tuberías de consumo y alimentación, especificadas en el numeral 4.2.4.3.

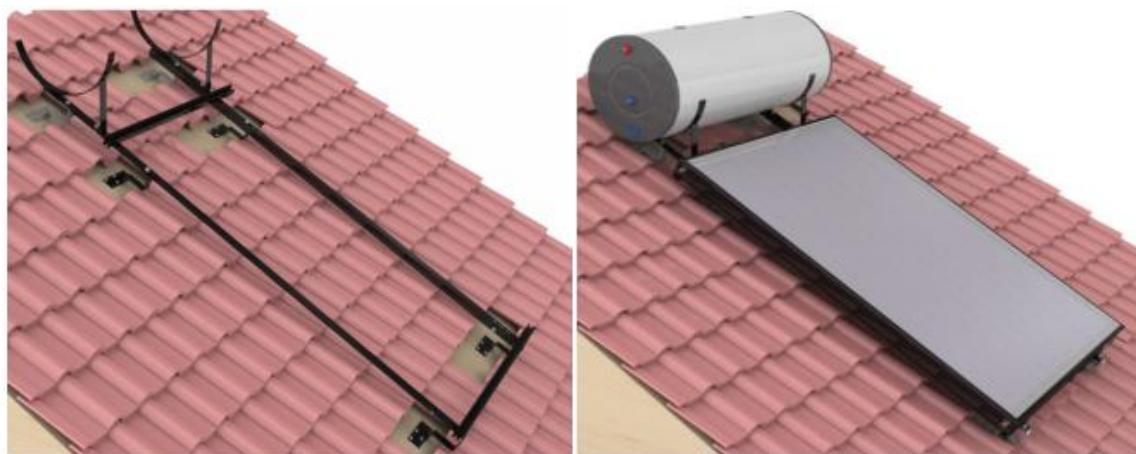


Figura 24. Sistema solar de termosifón en superposición arquitectónica (Solar Basic, 2017)

4.3.2.2 Superficie horizontal

Para las casas tipo C, en el diseño se optó por ubicar a los captadores en una superficie plana con los soportes proporcionados por la misma casa comercial. Para ello se debe impermeabilizar la azotea y construir muros pequeños de hormigón para anclar sobre ellos los soportes del captador solar para evitar la perforación de la cubierta y por ende, que existan puntos de rotura en la impermeabilización. Se colocará alimentación de 110 [V] con su respectiva protección eléctrica para los sistemas de control del sistema. Además es necesario el incorporar la red de tuberías de consumo y alimentación, especificadas en el numeral 4.2.4.3.

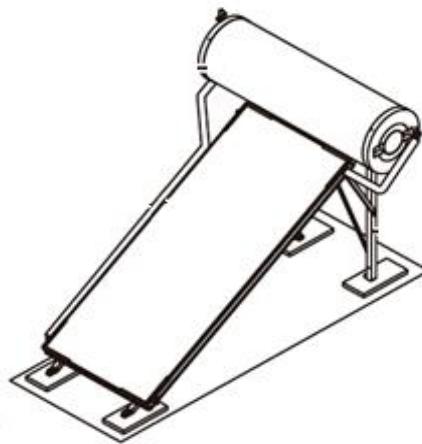


Figura 25. Sistema solar de termosifón en superficie plana (Ficha técnica VITOSOL 111-F, 2016)

4.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico supuesto por cada una de las instalaciones se tuvo que:

4.4.1 Presupuesto

Para el presupuesto se tomó en cuenta cada uno de los sistemas utilizados para el diseño por separado, por lo que se tiene los costos de instalación y la mano de obra involucrada para los sistemas solares termosifón de:

Tabla 30. Costos para sistema solar termosifón de 150 [L]

Descripción	Valor [USD]
Sistema solar termosifón compacto para producción de ACS de 150 [L]	1.347,24
Materiales para instalación termosifón	180,00

Descripción	Valor [USD]
Mano de obra para instalación de termosifón	300,00
Subtotal	1827,24
IVA 12 %	219,27
Total	2.046,51

Fuente: Cotización Alfa solar, 2020

Tabla 31. Costos para sistema solar termosifón de 200 [L]

Descripción	Valor [USD]
Sistema solar termosifón compacto para producción de ACS de 200 [L]	1.552,04
Materiales para instalación termosifón	180,00
Mano de obra para instalación de termosifón	300,00
Subtotal	2.032,04
IVA 12 %	243,84
Total	2.275,88

Fuente: Cotización Alfa solar, 2020

Tabla 32. Costos para sistema solar termosifón de 300 [L]

Descripción	Valor [USD]
Sistema solar termosifón compacto para producción de ACS de 300 [L]	1.890,21
Materiales para instalación termosifón	180,00
Mano de obra para instalación de termosifón	400,00
Sistema de protección ant quemaduras	126,85
Mano de obra para instalación de sistema de protección ant quemaduras	60,00
Subtotal	2.657,06
IVA 12 %	318,85
Total	2.975,91

Fuente: Cotización Alfa solar, 2020

Para los costes involucrados con la adecuación del lugar asignado, incluidos los materiales:

Tabla 33. Costos para sistema solar termosifón de 300 [L]

Descripción	Valor [USD]	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Casa				
Obra civil	45,00	45,00	40,00	
Obra eléctrica	25,00	25,00	25,00	
Plomería	252,35	330,37	272,35	
Total	322,35	400,37	337,35	

Fuente: Cotizaciones expertos en cada área, 2020

4.4.2 Coste de mantenimiento

Para determinar el coste de mantenimiento, es necesario el primero desarrollar un plan de mantenimiento para el sistema solar térmico diseñado, para asegurar también la vida útil de la instalación. Se propone igualmente que la administración del conjunto establezca las fechas a realizar el mantenimiento según la frecuencia de la operación, ya que a pesar de que es un diseño todo individual y cada familia es responsable del mismo, es posible identificar los problemas más fácilmente si se los realiza en conjunto, lo que igualmente disminuiría los costes de mantenimiento correctivo en caso de necesitarse.

Por ello se divide el mantenimiento según lo establecido por el NEC-HS-ER y el CTE-DB-HE4:

a) Mantenimiento predictivo, este se realiza con el objetivo de anticiparse a cualquier fallo y/o detectarlas en su etapa incipiente. Este es de carácter sistémico y se debe realizar aunque no se hayan presentado problemas.

Debido a que requiere de un conocimiento detallado de los componentes de la instalación, y se debe realizar durante diferentes meses del año es necesario el capacitar a los usuarios para que puedan realizarlo sin la necesidad de contactar con los técnicos, en caso de dudas se puede recurrir a la normativa vigente y al manual de usuario. El mantenimiento se realiza mediante inspección visual, por lo cual no tendría costos asociados al mismo. El plan de vigilancia sería el siguiente:

Tabla 34. Plan de vigilancia preventivo

Elemento	Operación	Descripción	Frecuencia
Captador	Limpieza de cubierta	Con agua y productos adecuados	A determinar según condiciones climáticas de la zona
	Cristales	Condensaciones en las horas centrales del día	
	Juntas	Agrietamiento y deformaciones	
	Absorbedor	Corrosión, deformaciones, fugas, etc.	
	Conexiones	Fugas	
	Estructura	Degradación, indicios de corrosión	
Circuito primario	Tubería y aislamiento	Ausencia de humedad y fugas	6 meses
	Purgador manual	Vaciar el aire del botellín	
Interacumulador	Acumulador solar	Purgado de la acumulación de lodos en la parte inferior	3 meses
	Tubería y aislamiento	Ausencia de humedad y fugas	
	Termómetro	Temperatura	
Adaptación NEC-HS-ER, 2020 y CTE-DB-HE4, 2013			

b) Mantenimiento preventivo, este se realiza con el objetivo de evitar fallas relacionadas al desgaste inherente de los componentes por el uso. Implica la revisión anual por parte de personal técnico competente en el área mecánica como en lo referente a la tecnología solar térmica.

Al igual que el anterior son operaciones de inspección visual, en la que se realiza la verificación los diferentes elementos del equipo solar térmico y se realiza la sustitución de los elementos desgastados por el uso. La normativa específica la descripción del proceso a realizar, por lo cual se debe tener en cuenta dichos puntos cuando el técnico los revise.

La instalación seleccionada en el diseño cuenta con garantía de 2 años y el costo del mantenimiento se encuentra alrededor USD 132,00.

c) Mantenimiento correctivo, este se realiza con el objetivo de subsanar cualquier evento de falla, por lo cual se realiza cuando se presenta una avería y su costo varía según el elemento afectado y las partes que se deban reemplazar. En casos de ser defectos de fábrica, este no tiene costo mientras la garantía se encuentre vigente. Este debe realizarse por personal técnico competente.

4.4.3 Inversión inicial

Con los costes relacionados ya definidos en los numerales 4.4.1., y 4.4.2., se obtuvo que la inversión para cada una de las casas del conjunto fue diferente.

En la Tabla 35, se especifica la inversión inicial para cada una de las casas:

Tabla 35. Inversión inicial por casa

Casa	Inversión [USD]
Casa A1	3.298,26
Casa B1	2.446,88
Casa B2	2.446,88
Casa B3	3.376,28
Casa B4	3.376,28
Casa B5	2.446,88
Casa B6	2.446,88
Casa B7	3.376,28
Casa B8	3.376,28
Casa B9	3.376,28

Casa	Inversión [USD]
Casa B10	2.676,25
Casa B11	2.446,88
Casa A2	3.298,26
Casa C1	2.613,23
Casa C2	3.313,26
Casa C3	2.613,23
Casa C4	3.313,26

Elaboración propia

4.4.4 Viabilidad económica

Como se observa en la Tabla 35, la inversión promedio de la instalación del sistema solar térmico fue de USD 2.955,39 e implica un ahorro promedio de 24 cilindros anuales de GLP.

Con ello se calculó el periodo de retorno de la inversión:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Coste de inversión}}{\text{Ahorro anual}} \quad (16)$$

Tabla 36. Periodo de retorno con precio actual de GLP

Precio GLP [USD]	
En depósito	A domicilio
77 años	36 años

Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 36, es necesario el calcular la viabilidad económica del proyecto con base en la desaparición del subsidio del GLP en el Ecuador, ya que de otra forma el proyecto no sería amortizable durante la vida útil de 20-25 años del sistema solar termosifón.

Para el precio real de GLP sin subsidio, incluido IVA y los costes de comercialización se tomó en cuenta el precio de dicho combustible en los países vecinos, siendo este de USD 19,33, además se toma en cuenta con un gasto promedio anual de USD 132,00 debido a mantenimiento del equipo.

Con el mencionado precio del GLP, el periodo promedio de retorno de la inversión sería de aproximadamente 10 años. Por lo cual para verificar la viabilidad del proyecto se realizó el

flujo de caja (ANEXO VII) y se determinó el valor anual neto (VAN) con una tasa de descuento de 2% y la tasa interna de retorno (TIR), durante los 25 años de vida útil estimada de la instalación

Tabla 37. Viabilidad del proyecto (valores promedio)

VAN	USD 20.110,56
TIR	7%

Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 37, el proyecto de inversión puede ser aceptado ya que el VAN es positivo y la TIR es superior a la tasa mínima de rentabilidad.

4.4.5 Ahorro energético

Para determinar el ahorro energético se determina la cantidad de energía final del sistema de producción de ACS actual. De acuerdo a Samaniego-Ojeda *et al* (2016) la masa útil de un cilindro de GLP de 15 kg, es de 13,64 kg, y un Poder Calorífico Inferior de 46.168,7 kJ/ kg. Por lo que cada cilindro de GLP brinda:

$$Energía_{final} = m_{útil\ GLP} * PCI * \eta_{calefón}$$

(17)

Si se considera una eficiencia del calefón del 87 %, se tiene que cada cilindro brinda 152,2 kWh. Estos datos se extrapolaron a los hábitos actuales de cada familia. Dicha cantidad de energía generada por el GLP, es suplida por la energía útil solar generada por el equipo termosifón. Estos datos se desarrollan a mayor detalle en el siguiente capítulo de resultados.

4.5 ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

El proyecto se encuentra diseñado para ser implementado en un conjunto residencial en el entorno urbano en el norte de Quito y se encuentra lejos del casco histórico ubicado en el centro de la ciudad.

Esta propuesta se enfoca en la utilización de energía renovable para el reemplazo de un combustible fósil, que en éste caso es el GLP, por lo que se consideran los siguientes aspectos:

4.5.1 Efectos positivos

Como se ha explicado a lo largo del trabajo, la energía solar térmica es una energía limpia con varios efectos positivos a nivel medioambiental. Se debe destacar, que el proyecto al ubicarse en un sector urbano, no conlleva efectos negativos en la fauna y a la flora del lugar, además al aprovechar las estructuras ya existentes como lugar de emplazamiento de los equipos, los sistemas de energía solar no requieren de la utilización de otros espacios de suelo.

Es necesario considerar que también el uso de esta energía implica reducción de costes y de residuos, al igual que un mejoramiento de la imagen ante los demás ya que durante todo el periodo de explotación, este tipo de energía no corre el riesgo de agotarse y no deja huella ecológica.

Este último punto es uno de los principales efectos positivos ya que implica la sustitución de combustibles fósiles, por lo que la emisión de gases perjudiciales para la salud y para el ambiente disminuyen considerablemente. Igualmente, al sustituir al GLP se puede eliminar los riesgos inherentes al uso del mismo debido a su inflamabilidad y su toxicidad en caso de fugas o de combustión incompleta.

El uso de calefones de GLP como sistema de producción principal de ACS, involucra la producción de una cantidad significante de CO₂. Como se mencionó anteriormente, la masa útil de un cilindro de GLP de 15 kg, es de 13,64 kg. Según la Oficina Catalana del cambio climático (2011), el factor de emisión del GLP es de 2,96 kg CO₂ por kg de GLP, por lo que por cada cilindro de GLP de uso residencial se tiene:

$$\text{Emisiones}_{CO_2} = m_{útil\ GLP} * \text{factor de emisión} \quad (18)$$

$$\text{Emisiones}_{CO_2} = 13,64\text{ kg GLP} * \frac{2,96\text{ kg }CO_2}{kg\ GLP}$$

$$\text{Emisiones}_{CO_2} = 40,37\text{ kg }CO_2$$

Estos datos se extrapolaron a los hábitos actuales de cada familia, y se desarrollan a mayor detalle en el siguiente capítulo de resultados.

4.5.2 Efectos negativos

Los efectos negativos de la instalación de producción de ACS a partir de energía solar térmica, se encuentran asociados a los diferentes estadios de la misma, como la instalación, funcionamiento y mantenimiento.

Los aspectos ambientales involucrados en la instalación y en el mantenimiento son similares ya que existe generación de ruido y de residuos no peligros. Mientras tanto durante el funcionamiento, los aspectos involucrados se deben a la captación de agua y escapes de aceites o del fluido caloportador del circuito primario. Durante esta etapa se debe tener especial cuidado con la temperatura del agua almacenada (superior a los 60 °C) para evitar afecciones humanas debido a la legionelosis.

Como se puede observar, los impactos ambientales se encontrarían asociados a molestias a los vecinos de otros conjuntos, impacto visual y reducción de recurso natural agua y contaminación del mismo si existe un mal manejo de las fugas.

5 RESULTADOS

A partir de la encuesta realizada a los residentes del conjunto Entrerobles, se determinó que el diseño del sistema de energía térmica para ACS se debía enfocar al número de personas que habitan actualmente las viviendas, en lugar de tomar como referencia el número de dormitorios que cada casa posee.

Esto se debe a que el proyecto no es de nueva construcción y que según los datos recabados, el 64,70 % de las familias han vivido en el conjunto desde sus inicios, el 23,53 % de las familias han vivido en el conjunto más de 8 años y ya son propietarios, y el 11,77 % restante pertenece a familias que son arrendatarias.

De este último grupo, se ha visto un alto porcentaje de rotación durante los últimos 6 años, pero a pesar de esto el número de personas por hogar no ha variado, siendo este de 3 personas. Por lo antes mencionado, se observó una alta permanencia de las familias en el conjunto Entrerobles, por lo cual el diseño actual seguiría siendo viable a futuro. Además se determinó que el 88,24 % de los residentes del conjunto son propietarios, por lo cual la instalación del proyecto sería menos complicado de cumplimentar.

Además de lo antes mencionado, se apreció que el Conjunto Entrerobles está conformado por familias de 2 hasta 5 integrantes. Esto se detalla en la Figura 26, donde se observa que el mayor porcentaje corresponde a las familias de 4 integrantes con un 41,18 %.

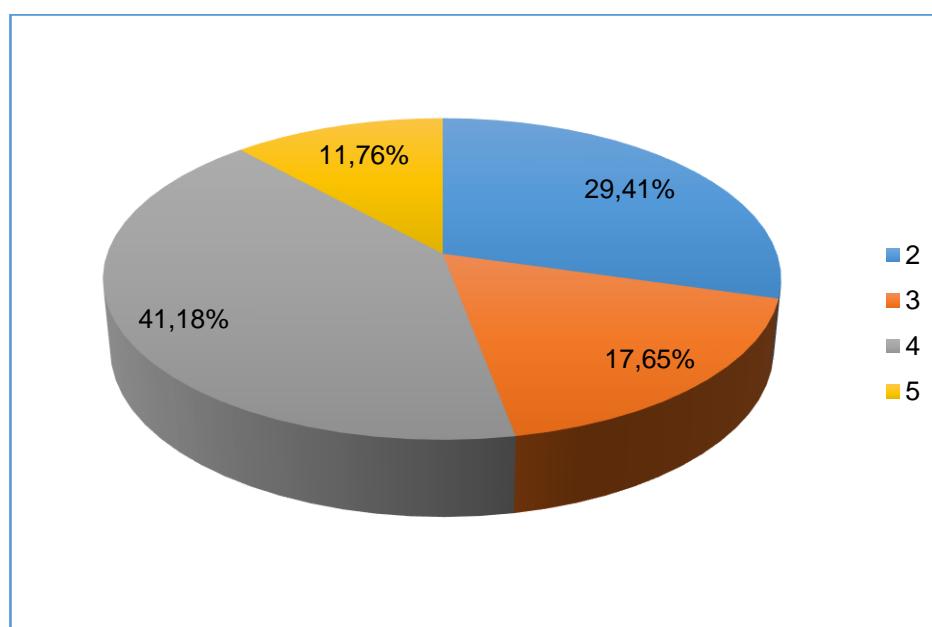


Figura 26. Número de personas que integran las familias residentes del Conjunto Entrerobles (Elaboración propia)

En cuanto a las actividades en las que se utiliza actualmente el ACS, se determinó que además de utilizarla para la ducha, el 82,35 % de las familias la utiliza ocasionalmente para lavar la vajilla de uso diario, al igual que ocurre con el uso de ACS para lavar la ropa. Por lo cual se identificó que el mayor consumo de ACS proviene de la ducha, mientras que los consumos en lavaderos y lavadora dependen de la época del año, del integrante de familia que realiza la actividad y de si poseen equipos, como lavaplatos, que requieren de ACS.

Como se explicó en el capítulo anterior, se determinó que el 100 % de las viviendas mantienen el uso del calefón a gas para la producción de ACS. A partir de la encuesta, se estableció que todos los calefonas han presentado problemas durante estos años, especialmente de recalentamiento del equipo, a veces no calienta el agua y han tenido que reemplazar ciertas piezas del equipo.

Al preguntar sobre el mantenimiento del equipo fue posible evidenciar que la periodicidad del mismo no es homogénea, y que la mayoría de las familias no realiza un mantenimiento preventivo del mismo, mientras que el 17,65 % realiza únicamente un mantenimiento correctivo. En la Figura 27, es posible apreciar que la mayoría de las familias realiza el mantenimiento cada 4 años, en lugar de lo aconsejable que es cada año, siendo solo el 11,77 % de las familias que cumplen con dicha disposición.

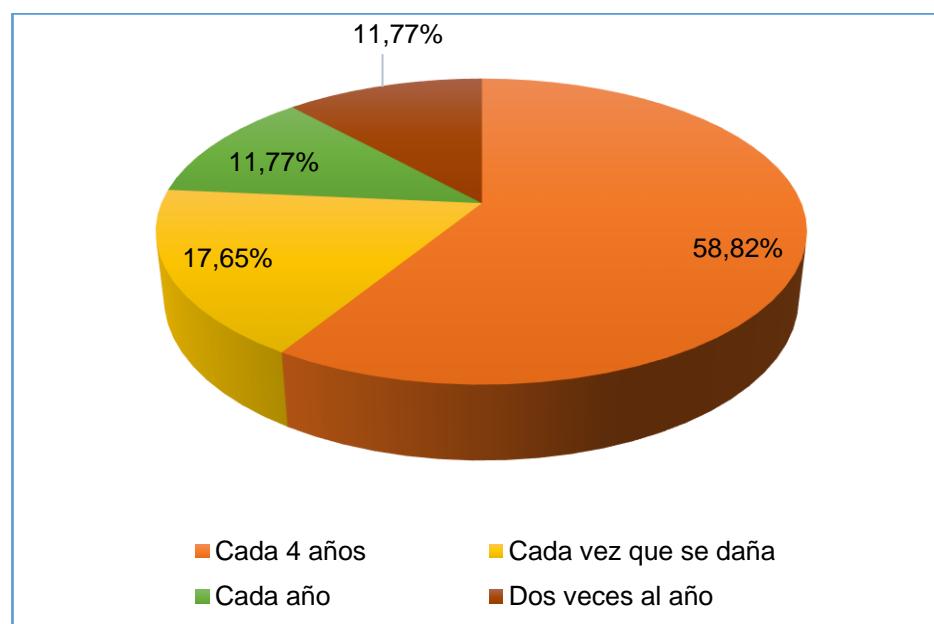


Figura 27. Mantenimiento calefón (Elaboración propia)

En la encuesta realizada, en cuanto al gasto de GLP en cada casa, no se evidenció una relación entre el número de integrantes de familia con el gasto de dicho combustible, por lo

que esté más bien depende de los hábitos de consumo de cada familia. La mayoría de casas consume un promedio mensual de 2 cilindros de GLP de 15 kg como se aprecia en la Figura 28, mientras que el consumo de 3 o 4 cilindros fue de 5,88 % (menos común).

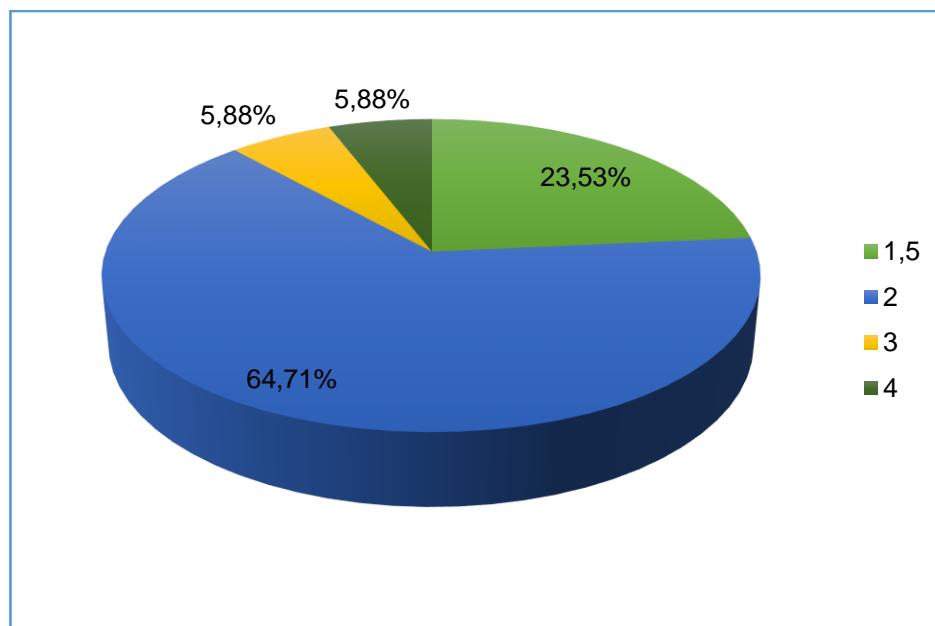


Figura 28. Cilindros de GLP mensual (Elaboración propia)

Igualmente, en la encuesta realizada el 94,12 % de los residentes expresaron su disposición a usar energía renovable para producción de ACS, para así ayudar al planeta. Los encuestados hicieron hincapié en que este sistema sería más seguro que el GLP debido al riesgo inherente que el mismo posee en cuanto a las posibles fugas que podrían resultar mortales.

A partir de los datos antes mencionados se presenta a continuación el diseño correspondiente para cada una de las casas del Conjunto Entrerobles. Cabe destacar que los datos de irradiación obtenidos a partir del programa no presentaron variación entre azimut 0° y -20°.

El diseño correspondiente para las casas B1, B2, B5, B6 y B11, donde habitan 2 personas contó con un sistema solar termosifón de un captador solar de 2,01 [m²] de área de captación y un tanque interacumulador de 150 [L], instalado en el tejado con ángulo de inclinación 15° y orientación sureste 200° con respecto al norte solar.

Con esto se obtuvo los resultados que se observan en la Figura 29.

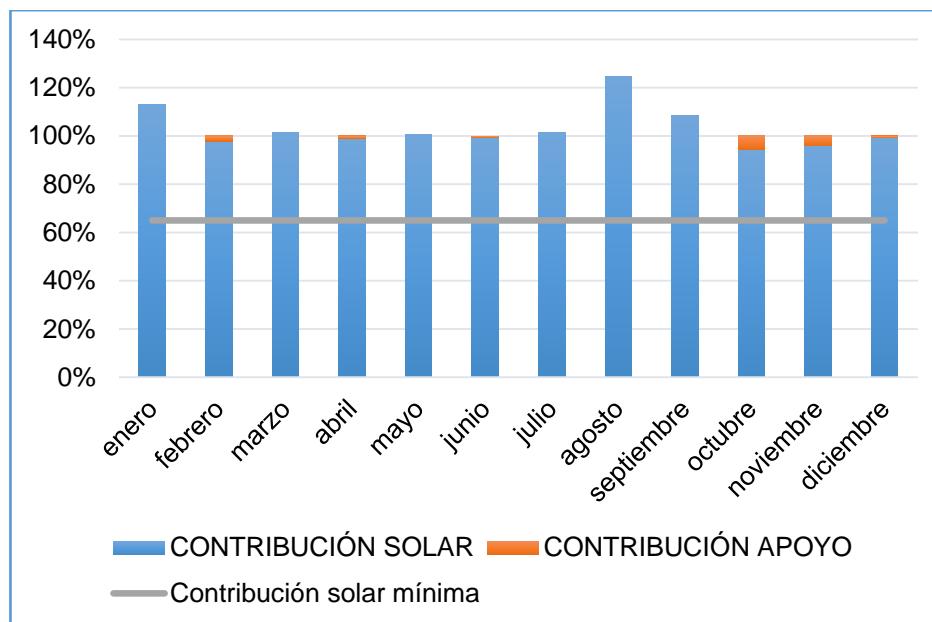


Figura 29. Contribución solar y de apoyo para diseño casas B1, B2, B5, B6 y B11
(Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 29, para las casas antes mencionadas el diseño realizado permitió una contribución solar promedio de 97 %, en todos los meses dicha contribución fue superior al 65 %, que es la contribución solar mínima establecida según lo mencionado en la Tabla 12. Igualmente se aprecia que existen tres meses que superan el 100 % de contribución solar, siendo estos los meses de enero, agosto y septiembre. Debido a que estos no son más de tres, el diseño cumplió lo establecido por el CTE sección 4.

En cuanto al mes de agosto que cuenta con 110,68 % de contribución solar, que superó al 110 % establecido como límite en la normativa, se tuvo en cuenta el porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación que fue de 4,1 %. Se debe destacar además, que los datos fueron obtenidos a partir de un software por lo cual dicho valor teórico es referencial, por lo que en caso de instalar se debe comparar con la contribución solar real.

En caso de seguir superando el 110 % se deberán tomar las siguientes medidas:

- Realizar el desvío del excedente a otras aplicaciones existentes.
- Tener en cuenta en el mantenimiento, para realizar un tapado parcial del campo de captadores o vaciado parcial del mismo.
- En último caso, se debe contemplar la instalación de equipos específicos para circulación nocturna del circuito primario.

En la Figura 29, se aprecia también que la contribución de apoyo promedio fue del 5 %, teniendo los meses octubre y noviembre la necesidad de un mayor porcentaje de este medio.

El diseño correspondiente para las casas B10, C1 y C3 donde habitan 3 personas contó con un sistema solar termosifón de un captador solar de 2,33 [m²] de área de captación y un tanque interacumulador de 250 [L], instalado en el tejado con ángulo de inclinación 15° y orientación sureste 200° con respecto al norte solar para la casa tipo B, e instalado en la azotea con ángulo de inclinación 15° y orientación sur para las casas tipo C. Con esto se obtuvo los resultados que se observan en la Figura 30.

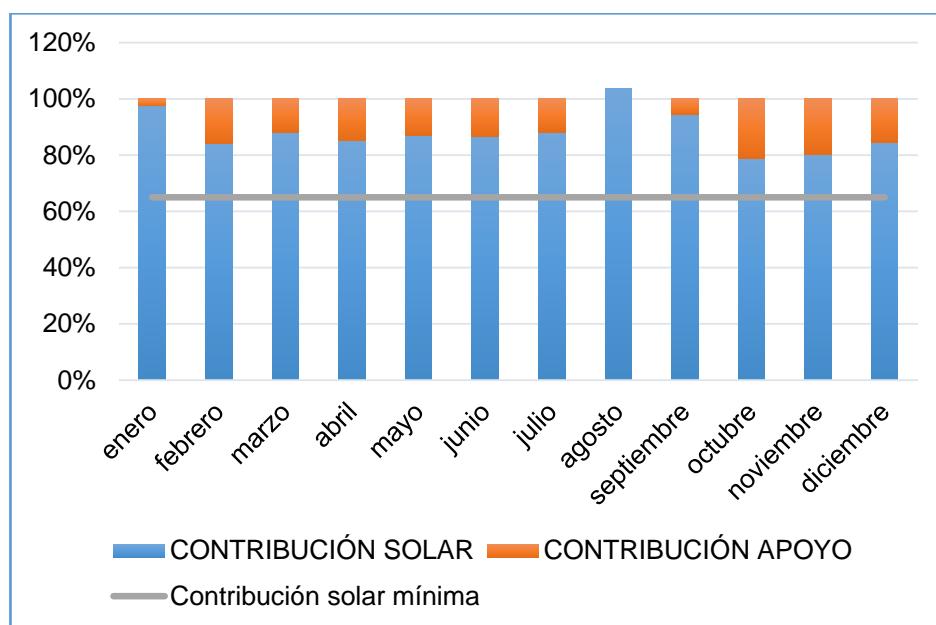


Figura 30. Contribución solar y de apoyo para diseño casas B11, C1 y C3 (Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 30, para las casas antes mencionadas el diseño realizado permitió una contribución solar promedio de 88 %, en todos los meses dicha contribución fue superior al 65 %, que es la contribución solar mínima establecida. Igualmente se observó que en el mes de agosto, la contribución solar fue de 103,71 %, debido a que la contribución solar no superó el 100 % en más de tres meses, el diseño cumplió lo establecido por el CTE sección 4.

Se aprecia también que la contribución de apoyo promedio fue del 12 %, teniendo los meses de octubre y noviembre la necesidad de un mayor porcentaje de este medio. Se tuvo en cuenta que el porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación fue de 2,7 % para las casas tipo C y de 4,1 % para la casa tipo B.

El diseño correspondiente para las casas A1 y C4, donde se realizó cambios a nivel arquitectónico ya que se agregó otro dormitorio, y donde habitan 5 personas contó con un sistema solar termosifón de un captador solar de 4,02 [m²] de área de captación y un tanque interacumulador de 300 [L], instalado en el tejado con ángulo de inclinación 15° y orientación sureste 200° con respecto al norte solar para la casa tipo A e instalado en la azotea con ángulo de inclinación 15° y orientación sur para las casas tipo C. Con esto se obtuvo los resultados que se observan en la Figura 31.

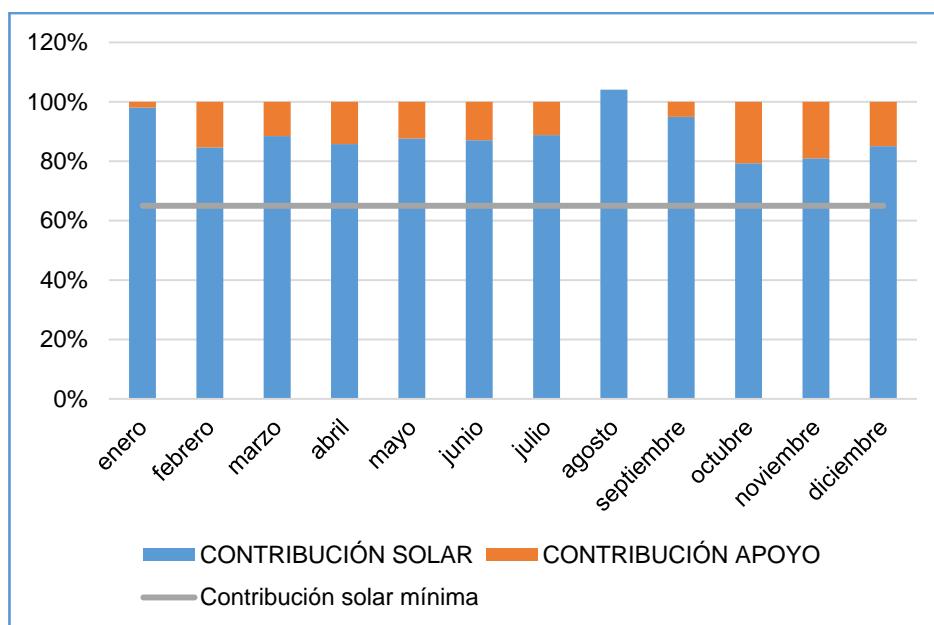


Figura 31. Contribución solar y de apoyo para diseño casas A1 y C4 (Elaboración propia)

Como se observa en la Figura 31, para las casas antes mencionadas el diseño realizado permitió una contribución solar promedio de 89 %, en todos los meses dicha contribución fue superior al 65 %, que es la contribución solar mínima establecida. Igualmente se observa que en el mes de agosto, la contribución solar fue de 104,11 %. Debido a que la contribución solar no supera el 100 % en más de tres meses, el diseño cumplió lo establecido por el CTE sección 4.

Se aprecia también que la contribución de apoyo promedio fue del 12 %, teniendo los meses octubre y noviembre la necesidad de un mayor porcentaje de este medio. Se tuvo en cuenta que el porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación fue de 4,1 % para la casa tipo A y de 2,7 % para la tipo C.

El diseño correspondiente para las casas B3, B4, B7, B8, B9, A2 y C2, donde habitan 4 personas contó con un sistema solar termosifón de un captador solar de 4,02 [m²] de área de

captación y un tanque interacumulador de 300 [L], instalado en el tejado con ángulo de inclinación 15° y orientación sureste 200° con respecto al norte solar para las casas tipo B y tipo A, e instalado en la azotea con ángulo de inclinación 15° y orientación sur para la casa tipo C. Los resultados que se obtuvieron, fueron iguales a los obtenidos para el caso de 2 personas ya que este diseño corresponde al doble del área de captación y de volumen de acumulación que el antes mencionado (Figura 29). Se debe tener en cuenta que en el caso de las casas tipo C, el porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación fue de 2,7 %.

Según lo antes mencionado, se puede determinar que todos los diseños presentaron una contribución solar mayor a lo establecido por la normativa, por lo que el uso de energía solar térmica para la producción de ACS en el norte de Quito-Ecuador es posible.

Es necesario acotar que para las características de los equipos seleccionados, la utilización de dicho sistema no es posible para el consumo de solo una persona ya que al realizar los cálculos, se observó que 6 meses sobrepasan el 100 % de la contribución lo cual causaría sobrecalentamiento del sistema y por ende daños en los equipos.

La orientación de los captadores solares, a pesar de que en caso de las casas tipo A y B corresponde a la del tejado, fue correcta. Al estar en orientación sur del norte solar, se puede favorecer la producción de ACS en los meses más fríos que corresponden a la estación de invierno (Octubre a Mayo) ya que la posición del Sol entre el 22 de septiembre al 20 de marzo está a esa dirección, lo cual permitiría que los valores reales necesarios de contribución de apoyo no sean tan altos.

Además se observa que en todos los casos, el mes de Agosto tiene mayor contribución solar de todos los meses, lo cual concuerda con que en Quito este es corresponde a la estación de verano (Junio a Septiembre).

El diseño para cada una de las tipologías, fue realizado en función de lo estipulado por la normativa, donde se estipula 28 [L] de ACS al día por persona a 60 °C, pero debido a los hábitos de consumo de los ecuatorianos en cuanto al uso del agua, en cada uno de los diseños se determinó que fueran capaces de cubrir la demanda de ACS con un sobredimensionamiento del 10 %. Por lo antes mencionado, se tuvo que con una demanda de 30,8 [L/día] por persona a 60 °C la relación entre contribución solar y de apoyo fue la siguiente:

- Sistemas diseñados para 2 y 4 personas: relación de 93,7 % y 6,3 %.

- Sistemas diseñados para 3 personas: relación de 84 % y 16 %.
- Sistemas diseñados para 5 personas: relación de 85 % y 15%.

Los equipos seleccionados pueden cubrir mayor demanda de ACS, pero como se observa en el párrafo anterior la contribución de apoyo va incrementando mientras que la contribución solar va disminuyendo, aunque esta todavía se encuentre por encima de la contribución solar mínima de 65 %.

Con esto se establece que para que el diseño deje de cumplir con la normativa, los valores diarios por persona no deben superar:

- Sistemas diseñados para 2 y 4 personas: los 48 L/día (sobredimensionamiento del 71,43 %)
- Sistemas diseñados para 3 y 5 personas: los 38 L/día (sobredimensionamiento del 35,75 %)

Como se puede evidenciar, a pesar que los equipos podrían seguir siendo funcionales a dichas demandas, esto no es recomendable ya que el objetivo en este estudio es el reemplazar el uso de combustibles fósiles por energía renovable. Debido a que el sistema de apoyo en el diseño propuesto fue el calefón a gas (GLP) que las viviendas actualmente poseen, principalmente para no incrementar los costos de implantación del proyecto, fue necesario que la contribución de apoyo se mantenga al mínimo.

Es por ello que se determinó, que antes de la instalación de un sistema solar térmico es necesario realizar primero una campaña de concientización en el conjunto Entrerobles acerca del consumo de agua y del uso de energías renovables.

Gracias a las características geográficas y climatológicas del país, el Ecuador goza de una gran cantidad de recursos naturales, donde destacan los recursos hídricos. Es por ello que la conciencia sobre el uso mesurado de dicho recurso es limitada. Es necesario destacar que el 87 % del territorio posee acceso a fuente mejorada de agua de acuerdo al reporte de JMP de UNICEF-WHO5 publicado por el INEC en 2018.

A diferencia de otros cantones, debido a la dinámica campo-ciudad y a que Quito es la capital del país, el municipio del DMQ ha garantizado una cobertura promedio del servicio de agua potable del 98,50 %. Este servicio cumple los estándares de calidad para el consumo humano

y es de caudal permanente por lo cual, la ciudadanía no tiene memoria de carencia de dicho servicio, lo que abona a que en el imaginario colectivo se asuma que siempre se contará con agua potable.

Debido a lo antes mencionado, el consumo de dicho recurso puede considerarse irracional en ciertas ocasiones especialmente al momento de bañarse, ya que durante la encuesta realizada ciertas familias expresaron que dicha actividad dura más de 20 min. Se debe considerar que según la OMS, por minuto de ducha se gastan 20 [L] de agua, por lo que el tiempo recomendado para dicha actividad ronda los 5 minutos y con agua templada (25- 30 °C).

El manejo manual por parte del usuario del sistema de apoyo se realizó para de esta manera limitar el consumo inconsciente tanto de ACS como de GLP del sistema de apoyo, ya que de otra forma el caudal permanente de ACS fungiría como aliciente al gasto poco mesurado de agua y GLP bajo el imaginario de estar contribuyendo al planeta con el uso de energía solar térmica.

Mediante la encuesta realizada, se estableció la cantidad promedio de cilindros de GLP de 15 kg que cada familia utiliza al mes, al igual que el gasto mensual que implica la compra de los mismos adquiriendo el producto en el depósito o a domicilio, y sin subsidio (USD 19,33 por cilindro de 15 kg). Esta información se presenta en la Tabla 38.

Tabla 38. Gasto actual mensual por compra de GLP

Casa	# Cilindros	Costo mensual		
	mensuales	En depósitos	A domicilio	Sin subsidio
A1	3,00	4,80	10,50	57,99
B1	1,50	2,40	5,25	29,00
B2	2,00	3,20	7,00	38,66
B3	2,00	3,20	7,00	38,66
B4	4,00	6,40	14,00	77,32
B5	1,50	2,40	5,25	29,00
B6	1,50	2,40	5,25	29,00
B7	2,00	3,20	7,00	38,66
B8	2,00	3,20	7,00	38,66
B9	2,00	3,20	7,00	38,66
B10	2,00	3,20	7,00	38,66
B11	1,50	2,40	5,25	29,00

Casa	# Cilindros		Costo mensual	
	mensuales	En depósitos	A domicilio	Sin subsidio
A2	2,00	3,20	7,00	38,66
C1	2,00	3,20	7,00	38,66
C2	2,00	3,20	7,00	38,66
C3	2,00	3,20	7,00	38,66
C4	2,00	3,20	7,00	38,66
Total	35	56	122,5	676,55

Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 38, el gasto mensual actual por el uso de calefón varía según el número de personas por casa y por los hábitos de consumo de la misma, lo cual repercute al gasto mensual de cada casa. En el conjunto Entrerobles se tuvo que en promedio se consume 2 cilindros por mes.

Al encontrarse al norte de Quito, el costo a domicilio es de USD 3,50, este valor es 2,19 veces mayor al precio en depósitos por lo cual esto también influye en el gasto mensual de cada casa. Debido a la comodidad que el servicio a domicilio representa la mayoría de familias accede al mismo, en la encuesta realizada el 11,77 % de las familias destacó que en ciertas ocasiones realiza la compra de dicho producto en el depósito.

Como se determinó en el numeral 4.4.4., con la instalación de sistemas solares termosifón y los precios actuales del GLP, ya sea a con la compra del mismo en el depósito o a domicilio, el proyecto planteado no es viable económico. Esto se debe a que al estar subsidiado, el valor en el depósito es 12,08 veces menor al precio real, mientras que el valor a domicilio es 5,52 veces menor al antes mencionado.

Se observó anteriormente, en la Figura 27 que los equipos actuales no cuentan con un mantenimiento preventivo, por lo cual se realizaron ciertas acotaciones en el numeral 4.4.2 con respecto al tema, las cuales se deben tener en cuenta para el correcto y óptimo funcionamiento de las instalaciones solares y que las mismas sean rentables durante su tiempo de vida útil.

Al considerar el valor del GLP sin subsidio y que el mantenimiento de los equipos desempeña un papel importante en la correcta operación del mismo, el VAN y TIR para cada una de las viviendas fue el expuesto en la Tabla 39.

Tabla 39. Viabilidad del proyecto por vivienda

Casa	VAN [USD]	TIR [%]	Amortización [años]
A1	64.111,92	15	6
B1	242,83	2	12
B2	27.356,95	11	8
B3	8.282,45	4	11
B4	116.738,92	23	5
B5	242,83	2	12
B6	242,83	2	12
B7	8.282,45	4	11
B8	8.282,45	4	11
B9	8.282,45	4	11
B10	22.649,49	9	9
B11	242,83	2	12
A2	9.883,69	5	10
C1	23.942,87	9	8
C2	9.575,84	5	10
C3	23.942,87	9	8
C4	9.575,84	5	10

Elaboración propia

Debido a que todo se concatena, el uso actual de GLP de cada una de las viviendas determina la viabilidad del proyecto. Como se observa en la Tabla 39, todos los valores de VAN fueron positivos, pero en el caso de la TIR se tuvo valores superiores e iguales a la tasa mínima de rentabilidad. Este último caso se presenta en las casas con 2 personas, e implica que puede llevarse a cabo únicamente si no hay alternativas más favorables.

Se establece entonces, que la rentabilidad aumenta según el número de personas para la cual es diseñado el proyecto y el consumo actual del GLP. Se establece también que el tiempo de amortización es menor que la mitad del tiempo de vida útil del equipo para cada casa, con un tiempo promedio de 10 años.

A pesar de que la rentabilidad económica no es tan favorable para cada uno de los casos, se debe tener en cuenta que el precio sin subsidio del GLP puede ir aumentando con el pasar de los años debido a la inflación y a su consecuente escasez ya que es un recurso no renovable.

Por dichas razones, los valores de TIR y VAN calculados son únicamente referenciales y establecen que a pesar de la alta inversión que representan, la misma puede ser recuperada con el pasar de los años ya que el equipo, con un mantenimiento adecuado, tiene un tiempo de vida útil de 25 años.

Con el diseño propuesto, a partir de lo establecido en la normativa se tuvo la cantidad de energía solar por diseño, presentada en la Figura 32

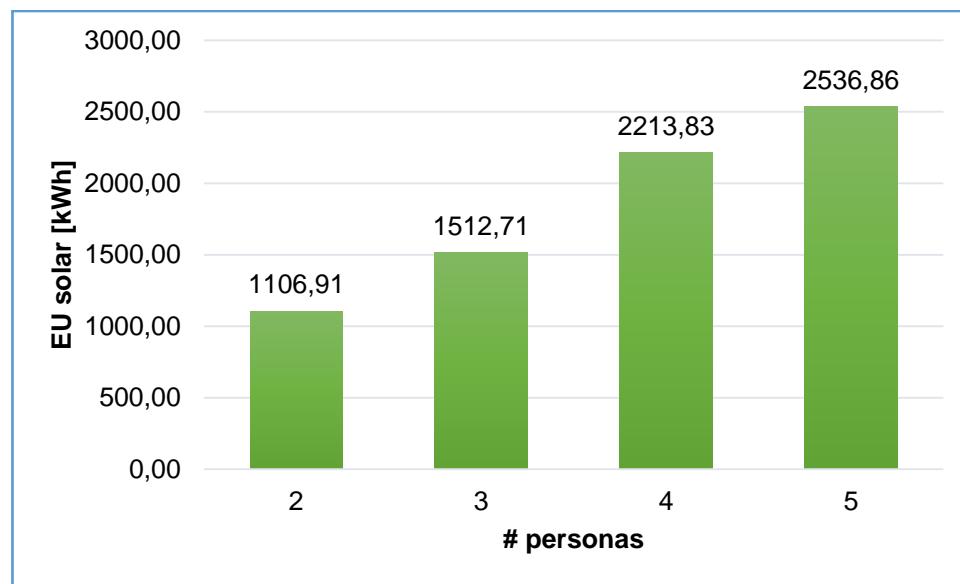


Figura 32. Energía útil entregada por la instalación solar (Elaboración propia)

Mientras que actualmente, con el calefón a GLP se tuvo la siguiente cantidad de energía final por cada vivienda:

Tabla 40. Energía final entregada por el GLP por casa

Casa	# Personas	Energía final entregada por GLP [kWh]	
		Mensual	Anual
A1	5	456,6	5479,2
B1	2	228,3	2739,6
B2	2	304,4	3652,8
B3	4	304,4	3652,8
B4	4	608,8	7305,6
B5	2	228,3	2739,6
B6	2	228,3	2739,6
B7	4	304,4	3652,8
B8	4	304,4	3652,8
B9	4	304,4	3652,8
B10	3	304,4	3652,8
B11	2	228,3	2739,6
A2	4	304,4	3652,8
C1	3	304,4	3652,8
C2	4	304,4	3652,8
C3	3	304,4	3652,8
C4	5	304,4	3652,8

Elaboración propia

No solo se debe centrar el estudio en la viabilidad económica, como fue mencionado el GLP es un recurso no renovable que tarde o temprano se acabará y es mejor migrar a energías renovables antes de que esto suceda. Igualmente el cambio de sistema de producción de ACS representa un ahorro energético y disminución de emisiones de CO₂.

Como se puede observar, el nivel actual consumo de la Tabla 40, es superior al que las instalaciones diseñadas brindarían (Figura 32). Esto se debe a que el hábito de consumo de los usuarios es diferente en cada caso, lo cual ratifica la necesidad de concientizar a los habitantes del conjunto.

Con el cambio de sistema de producción de ACS, sería posible el bajar el consumo del recurso agua y de la siguiente cantidad promedio mensual de emisiones de CO₂ por casa.

Tabla 41. Emisiones de CO₂ mensuales por casa

Casa	# Cilindros mensuales	Emisiones de CO ₂ mensual [kg]
A1	3,0	121,11
B1	1,5	60,56
B2	2,0	80,74
B3	2,0	80,74
B4	4,0	161,48
B5	1,5	60,56
B6	1,5	60,56
B7	2,0	80,74
B8	2,0	80,74
B9	2,0	80,74
B10	2,0	80,74
B11	1,5	60,56
A2	2,0	80,74
C1	2,0	80,74
C2	2,0	80,74
C3	2,0	80,74
C4	2,0	80,74
Total	35,0	1412,95

Elaboración propia

El conjunto Entrerobles tiene una emisión promedio mensual actual de 1.412,95 kg de CO₂. Con estos datos, al año se emitiría a la atmósfera 16,96 toneladas de CO₂ producidas únicamente debido al uso de calefón a GLP. Como se puede observar, este valor es elevado, y si se considera que la instalación solar térmica tiene un tiempo de vida útil de 25 años, el cambio implicaría que 423,89 toneladas de CO₂ no fuesen emitidas al medio ambiente.

6 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Tras el estudio realizado, se concluye que la instalación de un sistema de energía solar térmica para la producción de ACS, a nivel técnico, es viable para la zona norte de la ciudad de Quito en específico para las 17 casas unifamiliares del conjunto Entrerobles; debido a las características existentes de recurso solar y las condiciones climáticas de la región en el lugar de emplazamiento del proyecto.

El presente estudio determinó que un diseño tipo individual, instalado en el tejado para las casas tipo A y B (inclinación de 15° y orientación 200° sureste) y en la azotea para las casas tipo C (inclinación de 15° y orientación sur) permite asegurar la superficie de captación necesaria para satisfacer la demanda de ACS según normativa de las familias residentes del Conjunto Entrerobles, con un porcentaje de pérdidas por orientación e inclinación del 4,1 % para las casas tipo A y B, y del 2,7 % para las tipo C, además que la variación en el azimut no representó un cambio de valores de irradiación solar mensual.

El diseño para las casas B1, B2, B5, B6 y B11 contó con un sistema termosifón de 2,01 [m²] de superficie de captación y un interacumulador de 150 [L], con 97 % de cobertura solar y 5 % de contribución de apoyo.

El diseño para las casas B10, C1 y C3 contó con un sistema termosifón de 2,33 [m²] de superficie de captación y un interacumulador de 200 [L], con 88 % de cobertura solar y 12 % de contribución de apoyo.

El diseño para las casas B3, B4, B7, B8, B9, A2 y B2 contó con un sistema termosifón de 4,02 [m²] de superficie de captación y un interacumulador de 300 [L], con 97 % de cobertura solar y 5 % de contribución de apoyo.

El diseño para las casas A1 y C4 contó con un sistema termosifón de 4,02 [m²] de superficie de captación y un interacumulador de 300 [L], con 89 % de cobertura solar y 12 % de contribución de apoyo.

El diseño realizado permitiría el aumentar la conciencia ambiental por parte de los condóminos del conjunto ya que se realiza con base en la demanda de ACS a 60 °C establecida por la normativa ecuatoriana y española, y además implica el cambio manual al sistema de apoyo.

Aunque la inversión inicial es alta, la instalación de un sistema solar termosifón es viable económicamente en todos los casos debido a que su VAN es positivo y que el TIR es mayor o igual a la tasa mínima de rentabilidad, solo si el GLP deja de ser subsidiado por el Estado. Conjuntamente, el periodo de amortización promedio es de 10 años, que es menor a la mitad del tiempo de vida útil del equipo.

El cambio de sistema de producción de ACS supone un ahorro energético de 63.924,00 kWh anuales producidos a partir de GLP y evita la emisión de 1.412,95 kg de CO₂ al año.

Para el desarrollo de trabajos futuros se recomienda:

- Realizar una verificación experimental de los valores de irradiación solar mensual y de su variación con respecto al azimut ya que al encontrarse a latitud 0°, dichos valores podrían tener diferencias mínimas y por ende la orientación norte o sur podría ser indiferente.
- La evaluación del ahorro que representa en el Ecuador la energía solar térmica con respecto a los sistemas de ACS que utilizan energía eléctrica y si el mismo resulta rentable debido a la cantidad de hidroeléctricas que el país posee.
- Realizar un estudio similar de dimensionamiento en un lugar que posea una superficie suficiente para un campo de captadores y comparar la rentabilidad entre captadores solares planos y de tubos de vacío.
- Comparar los datos del estudio obtenidos con el método F-Chart con los obtenidos a partir de un software de simulación.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Andaluza de la Energía. (s.f.) *Energía Solar térmica*. Recuperado el 7 de noviembre de 2020 de: https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/energia_solar_termica_agencia_andaluza_de_la_energia.pdf
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (2018) *Estadística anual y multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. Recuperado de: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=3942&force=1>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (2018) *Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2018*. Recuperado el 18 de diciembre de 2020 de: https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/Atlas2018-V2-21-06-20181_compressed-comprimido_bien.pdf
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (2020) *Estudios del Sector Eléctrico*. Recuperado el 18 de diciembre de 2020 de: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/estudios-del-sector-electrico/#>
- Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (2020) *Precios Combustibles*. Recuperado el 18 de diciembre de 2020 de: <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/precios-combustibles/>
- Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (2020) *Precios Combustibles. Segmento GLP*. Recuperado el 18 de diciembre de 2020 de: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTRmYjBhNTMtMjIzMjIiZMjIiLWJjNDctM2E2OTgwMDVhMGMyIwidCI6IjY2OTJiN2UwLTRhNjMtNDRmYi1iOWJiLTBkNmJmNTRhMzFIYilsImMiOjR9>
- Alvares D. (2017) *Evaluación de la Orientación y el ángulo de Inclinación Óptimo de una Superficie Plana para Maximizar la Captación de Irradiación Solar en Cuenca-Ecuador*. (Trabajo de grado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14458/1/UPS-CT007120.pdf>
- André O., y Vargas A. (2005) *Diseño y análisis económico de una instalación de gas licuado de petróleo aplicada al edificio Millenium de la ciudad de Loja*. Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil. Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2343/1/4636.pdf>
- ASIT (2010) *Guía ASIT de la Energía Solar Térmica*. Recuperado el 7 de noviembre de 2020 de:

- https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Guia_ASIT_Energia_Solar.pdf
- Ballagán J., y Pico J. (2018) *Diseño y Simulación de un Sistema Solar Térmico Forzado, Acoplado a un Sistema Centralizado de Agua Caliente Sanitaria de GLP en la Ciudad de Quito.* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Calle J., y Tinoco O. (2018) *Obtención de ACS con energía solar en el cantón Cuenca y análisis de la contaminación ambiental.* Ingenius. N.19, (enero-junio). pp. 89-101. doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.09>.
- Castro M. (2011) *Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador.* Quito: CEDA. Recuperado de: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cq00344.pdf>
- CELEC EP (2020) *Central Eólica Villonaco la de Mayor Producción Por Turbina en el Mundo.* Recuperado el 17 de noviembre de 2020 de: <https://www.celec.gob.ec/gensur/index.php/84-central-eolica-villonaco-la-de-mayor-produccion-por-turbina-en-el-mundo>
- CELEC EP (2020) *Proyectos Hidráulicos.* Recuperado de: <https://www.celec.gob.ec/index.php/generacion/hidraulicos>
- CONELEC (2008) *Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica.* Recuperado el 17 de noviembre de 2020 de: <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- CTE DB-HE4. Código Técnico de la Edificación Documento Básico Ahorro de Energía Contribución Solar Mínima de Agua Caliente Sanitaria. Ministerio de Fomento. España, septiembre 2013.
- Entrerobles (2004) Planos Proyecto Conjunto Habitacional Entrerobles. Material no publicado.
- El Telégrafo (2019) *La tarifa del servicio a domicilio del gas doméstico no está regulada.* Recuperado el 18 de diciembre de 2020 de: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/domicilio-gasdomicostico-precios>
- ELECGALAPAGOS S.A (2020) *Proyectos.* Recuperado el 17 de noviembre de 2020 de: <http://www.elecgalapagos.com.ec/newsite/proyectos/>
- Energías Renovables (2015) *Energía solar térmica para ACS.* Recuperado el 7 de noviembre de 2020 de: <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/energia-solar-termica-ac/>
- EP PETROECUADOR (2020) Subsidio proyectado por producto del 11 de diciembre al 10 de enero de 2021. Recuperado de: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/12/PRODUCTOS-SUBSIDIADOS-DICIEMBRE-2020-COMERCIAL-11-AL-10.pdf>
- Eras, A., (2016) *Guía Práctica para el Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en el Ecuador.* Recuperado de:

<https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/Guide%20for%20the%20Efficient%20Use%20of%20Electric%20Power%20in%20Ecuador-.pdf>

GEEF MINERGIA PNUD (2014) *Ficha Técnica de Diseño e Instalación SISTEMA SOLAR TÉRMICO TERMOSIFÓN PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES*. Recuperado el 21 de octubre de 2020 de: https://www.solarthermalworld.org/sites/default/files/story/2014-09-15/termosifon_viviendas_unifamiliares.pdf

Guamán J., Guevara D., y Ríos, A. (2016) *Evaluación del Impacto Económico en Diferentes Escenarios de Implementación de Tecnologías Eficientes de Calentamiento de Agua en el Ecuador*. Revista Técnica "energía". No. 12, Pp. 270-283. ISSN 1390-5074.

Iglesias I (2017) *Estudio de la Viabilidad Técnica y Económica de una Instalación Solar Térmica para Satisfacer parte de la Demanda de Calefacción de la Escuela de Ingeniería en Minas, Energía y Materiales de Oviedo* (Trabajo Fin de Máster) Universidad de Oviedo, Oviedo. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10651/43573>

INEC (2010) *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los hogares urbanos y rurales 2011-2012*. Recuperado de: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-nacional-de-ingresos-y-gastos-de-los-hogares-urbanos-y-rurales/>

Instituto de Investigación Geológico y Energético (2018) *Balance Energético Nacional 2018*. Recuperado de: <https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=1999&force=1>

Lara I., y Fierro J. (2012) *Modelo para representar la trayectoria del sol sobre el globo terrestre*. UNAM, México.

López J. (2020) *Tema 9: El cambio climático*. Universidad Internacional de la Rioja. Material no publicado.

Meteonorm (2020) *Meteonorm Features*. Recuperado el 7 de noviembre de 2020 de: <https://meteonorm.com/en/meteonorm-features>

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2012) *Plan Maestro de Electrificación 2012-2021*. Recuperado de: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/PME-2012-2021.pdf>

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2020) *Ministerio de Electricidad a través del INER llevó a cabo Taller sobre Nuevas Alternativas de Tecnología Solar en Galápagos*. Recuperado el 17 de noviembre de 2020 de: <http://historico.energia.gob.ec/ministerio-de-electricidad-a-traves-del-iner-llevo-a-cabo-taller-sobre-nuevas-alternativas-de-tecnologia-solar-en-galapagos/>

Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (2020) *Proyecto Hidroeléctrico Delsitanisagua*. Recuperado el 17 de noviembre de 2020 de: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/proyecto-hidroelectrico-delsitanisagua/>

MIDUVI (2020) *Norma Ecuatoriana de la Construcción capítulo NEC-HS-ER: Energías Renovables, Sistemas Solares Térmicos para Agua Caliente Sanitaria (ACS) – Aplicaciones Menores A 100 °C.* Recuperado de: <https://www.habitatytvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/NEC-HS-ER-Energ%C3%ADAs-Renovables.pdf>

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN XX: 2009. *Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar para Uso Sanitario en el Ecuador.* Primera versión del 1º de junio de 2009.

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2507. *Rendimiento Térmico de Colectores Solares. Requisitos y Métodos de Ensayo.* Primera revisión 2016-12

Oficina Catana del Cambio Climático (2011) *Guía Práctica para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).* Recuperado el 21 de diciembre de 2020 de: <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

Osinergmin (2010) *Cuáles son las propiedades del "GLP".* Recuperado el 21 de diciembre de 2020 de:

<http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1430.htm#:~:text=El%20GLP%20prod%20de%20los,%E2%80%9Cagente%20odorante%E2%80%9D%20denominado%20mercaptano>

Peláez M., y Espinoza J. (2015) Energías renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas. Universidad de Cuenca. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Juan_Espinoza5/publication/291356953_Energia_solar_en_el_Ecuador/links/56aa902408ae8f3865664250/Energia-solar-en-el-Ecuador.pdf

Peñaherrera F., y Sarzosa H. (2012) *Instalación de Colectores Solares Planos para Calentamiento de Agua en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Levantamiento del Potencial Eléctrico para la Instalación a Gran Escala.* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.

PLANAE (2017) Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016 – 2035. Recuperado de: https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICAmaqueta-final-digital.pdf

Planas O. (2011) *Energía solar térmica, usos y tipos de instalaciones.* Recuperado el 7 de noviembre de 2020 de: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>

Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). PET-REV-enero 2009. España. Recuperado de: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Técnicas_Baja_Temperatura_09_082ee24a.pdf

Repsol (2020) *¿Qué es y para qué sirve el combustible GLP?* Recuperado el 21 de diciembre de 2020 de: https://www.repsol.es/es/productos-y-servicios/estaciones-de-servicio/productos/glp/index.cshtml?_ga=2.124012553.208548346.1608578666-950752638.1608578660

Ríos, A., Guamán J., y Vargas C. (2018) *Análisis de la Implementación de una Estrategia de Reducción del Consumo Energético en el Sector Residencial del Ecuador: Evaluación del Impacto en la Matriz Energética.* Revista Técnica “energía”. No. 15, Issue I, Pp. 98-109. ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

Rodríguez P. (2020) *Análisis paramétrico de captadores solares planos. Estudio de mercado.* (Trabajo de fin de grado) Universidad de Sevilla, Sevilla. Recuperado de: <https://idus.us.es/handle/11441/103276>

Rojas M., y Morales S. (2019) *Incidencia lumínica en la Casa Patio del Centro Histórico de Quito Estudio del caso barrio San Marcos.* Recuperado el 22 de diciembre de 2020 de: <https://revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos/article/download/607/470/1034>

Roldán J. (2012) *Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares.* Madrid: Paraninfo.

Rufes P. (2010) *Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento.* Volumen 4 de NUEVAS ENERGÍAS. Barcelona: Marcombo S.A., ediciones técnicas

Samaniego-Ojeda C., Álvarez O., y Maldonado J. (2016) *Emisiones provocadas por combustión de GLP a partir de calefones en la ciudad de Loja y su posible relación con enfermedades respiratorias agudas (ERA's).* Recuperado el 21 de diciembre de 2020 de: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/download/62/61/215>

Sánchez J. (2020) *Tema 3: La energía solar térmica (I).* Universidad Internacional de la Rioja. Material no publicado.

Sánchez J. (2020) *Tema 4: La energía solar térmica (II).* Universidad Internacional de la Rioja. Material no publicado.

Secretaría del Ambiente DMQ (2020) *Datos Históricos REMMAQ Descarga 2004 – 202.* Recuperado el 7 de noviembre de 2020 de:

<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/descarga-datos-historicos>

Solar Basic (2017) *Manual de Instrucción e Instalación del Termosifón Solar Basic 300.* Recuperado el 21 de octubre de 2020 de: <http://www.saclima.com/wp-content/uploads/2017/02/MANUAL-SOLARBASIC300.pdf>

Sopelia (2016) Solar Térmica Ecuador. Recuperado el 17 de noviembre de 2020 de: <http://www.energiasolar.lat/solar-termica-ecuador/>

The World Bank (2020) *World - Solar Irradiation and PV Power Potential Map.* Recuperado el 7 de noviembre de 2020 de: <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/world-solar-irradiation-and-pv-power-potential-map>

Vaca-Revelo D., y Ordoñez F. (2019) *Mapa Solar del Ecuador 2019*. Recuperado el 17 de noviembre de 2020 de: https://www.ingenieraverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf

Villavicencio M., y Ruiz M. (2019) *Efecto de eliminar subsidio al gas para uso doméstico en el Ecuador*. Revista electrónica cooperación universidad sociedad. Volumen 4, pp. 29-34. ISSN 2528-8075

WLPG (2015) *LPG Exceptional Energy*. Recuperado el 21 de diciembre de 2020 de: <https://www.wlpga.org/wp-content/uploads/2015/10/WLPGA-EE-PDF-ES.V1.pdf>.

8 BIBLIOGRAFÍA

Cálculo agua caliente sanitaria con captadores solares (16/11/19) [Video] Recuperado de:
https://www.youtube.com/watch?v=zgyS_b8crhs&list=LL&index=7

DEIA (2020) ¿Cuánto tiempo debe durar la ducha diaria? Recuperado de:
<https://www.deia.eus/vivir-on/salud/2020/05/26/tiempo-debe-durar-duchadiaria/1041301.html#:~:text=%C2%BFY%20cu%C3%A1nto%20deber%C3%ADa%20durar%3F,agua%20de%20consumo%20medio%20diario%22.>

EMMAPS Agua de Quito (2020) Sistema de distribución. Recuperado de:
<https://www.aguaquito.gob.ec/sistema-de-distribucion/>

INEC (2018) Agua, saneamiento e higiene: medición de los ODS en Ecuador. Recuperado de:
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,_SANEAMIENTO_e_HIGIENE.pdf

Obaco F., y Jaramillo J. (2010) Sistemas solar-térmicos: algoritmo operativo para aplicar el método F- Chart en la evaluación de colectores solares. Recuperado de:
<https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/wp-content/uploads/2010/06/solartermicos-algoritmo-metodo-f-chart.pdf>

Pérez M. (2016) Dimensionado de una instalación solar térmica para el abastecimiento de agua caliente sanitaria de un colegio público de educación primaria en el municipio de L'Eliana. (Tesis de pregrado) Universidad Politécnica de Valencia. Recuperada de:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74295/P%C3%89REZ%20-%20DIMENSIONADO%20DE%20UNA%20INSTALACI%C3%93N%20DE%20ENERG%C3%8DA%20SOLAR%20T%C3%89RMICA%20PARA%20EL%20ABASTECIMIENTO%20DE%20AGUA%20C....pdf?sequence=1>

Quero G. (2011) Diseño de un sistema de captación de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria en un edificio de viviendas. (Tesis de pregrado) Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperada de:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11549/ANEXOS%20DE%20C%C3%81LCULOS.pdf>

Revista Líderes (2019) El gas de uso doméstico: subvención al gas crece, pero a menor ritmo. Recuperado de: <https://www.revistalideres.ec/lideres/gas-domestico-subvencion-gas-crece.html>.

9 ANEXOS

9.1 ANEXO I: GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

Quito

-00°06'35", -78°30'18"

Unidad Educativa Juan Pablo II, Quito, Pichincha, Ecuador

Time zone: UTC-05, America/Guayaquil [ECT]

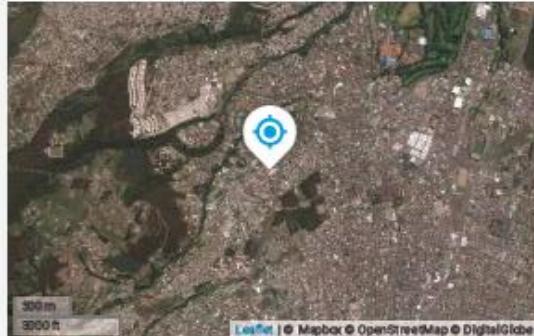
⌚ Report generated: 8 Nov 2020

SITE INFO

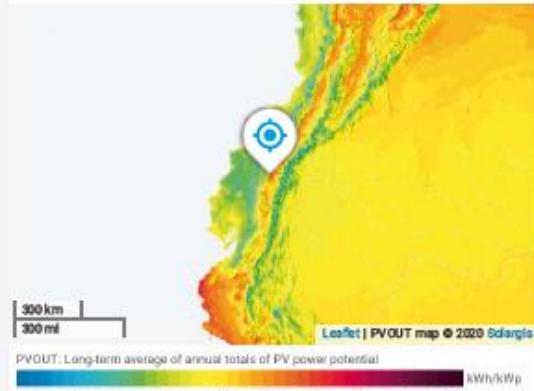
Map data

		Per year
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1602 kWh/kWp
Direct normal irradiation	DNI	1678 kWh/m ²
Global horizontal irradiation	GHI	1970 kWh/m ²
Diffuse horizontal irradiation	DIF	823 kWh/m ²
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	1973 kWh/m ²
Optimum tilt of PV modules	OPTA	4 / 0 °
Air temperature	TEMP	14.5 °C
Terrain elevation	ELE	2835 m

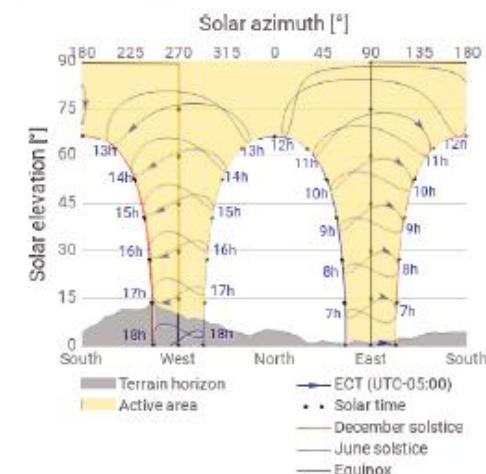
Map



PVOUT map



Horizon and sunpath



GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP



GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

GLOSSARY

Acronym	Full name	Unit	Type of use
DIF	Diffuse horizontal irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average yearly, monthly or daily sum of diffuse horizontal irradiation (© 2019 Solargis)
DNI	Direct normal irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average yearly, monthly or daily sum of direct normal irradiation (© 2019 Solargis)
ELE	Terrain elevation	m, ft	Elevation of terrain surface above/below sea level, processed and integrated from SRTM-3 data and related data products (© 2019 SRTM team)
GHI	Global horizontal irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global horizontal irradiation (© 2019 Solargis)
GTI	Global tilted irradiation	kWh/m ² , MJ/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation (© 2019 Solargis)
GTI _{opta}	Global tilted irradiation at optimum angle	kWh/m ² , MJ/m ²	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation for PV modules fix-mounted at optimum angle (© 2019 Solargis)
OPTA	Optimum tilt of PV modules	*	Optimum tilt of fix-mounted PV modules facing towards Equator set for maximizing GTI input (© 2019 Solargis)
PVOUT_total	Total photovoltaic power output	kWh, MWh, GWh	Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by the total installed capacity of a PV system (© 2019 Solargis)
PVOUT_specific	Specific photovoltaic power output	kWh/kWp	Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by a PV system and normalized to 1 kWp of installed capacity (© 2019 Solargis)
TEMP	Air temperature	*C, *F	Average yearly, monthly and daily air temperature at 2 m above ground. Calculated from outputs of ERA5 model (© 2019 NOAA and NASA)

ABOUT

This pdf report (the "Work") is automatically generated from the Global Solar Atlas online app (<https://globalsolaratlas.info/>), prepared by Solargis under contract to The World Bank, based on a solar resource database that Solargis owns and maintains. It provides the estimated solar resource, air temperature data and potential solar power output for the selected location and input parameters of a photovoltaic (PV) power system.

Copyright © 2019 The World Bank
1818 H Street NW, Washington DC 20433, USA

The World Bank, comprising the International Bank for Reconstruction and Development (IBRD) and the International Development Association (IDA), is the commissioning agent and copyright holder for this Work, acting on behalf of The World Bank Group. The Work is licensed by The World Bank under a Creative Commons Attribution license (CC BY 4.0 IGO) with a mandatory and binding addendum (please refer to the GSA website for full terms and conditions of use <https://globalsolaratlas.info/support/terms-of-use>).

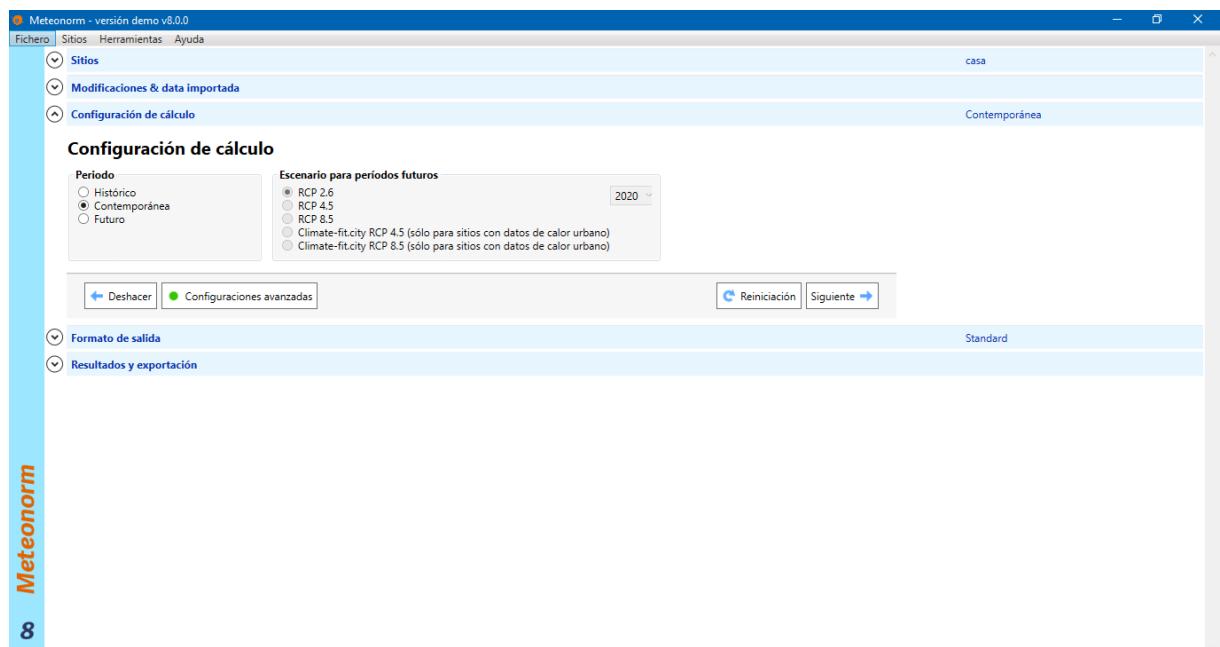
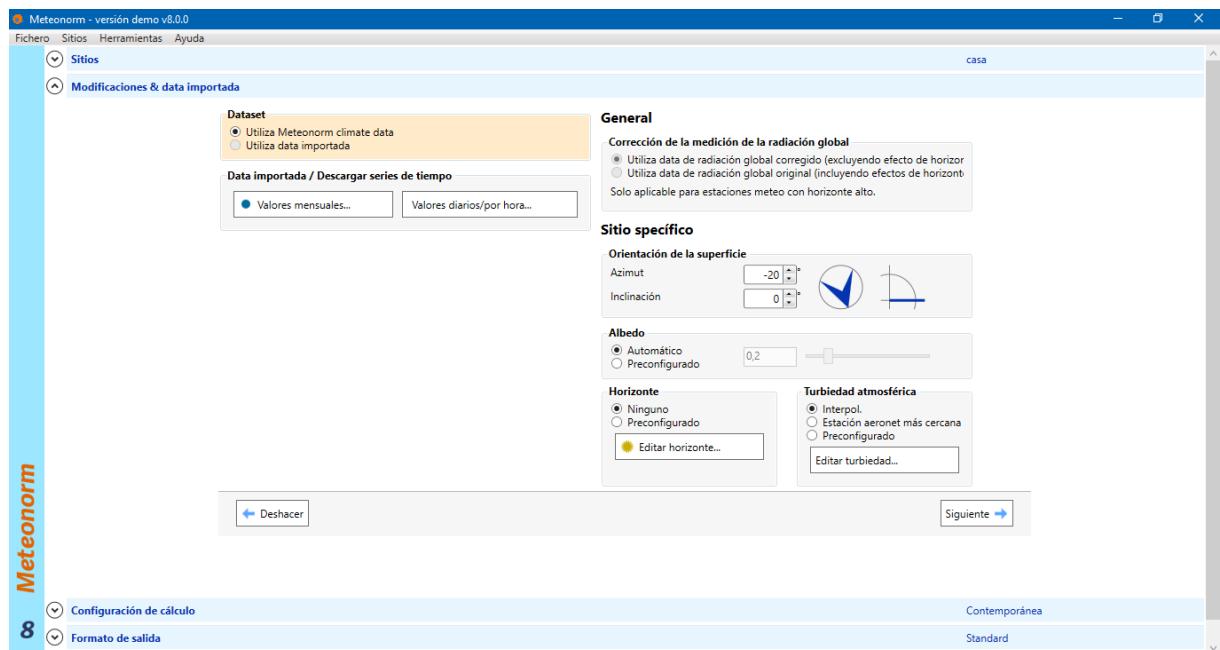
The World Bank Group disclaims all warranties of any kind related to the provision of the Work.

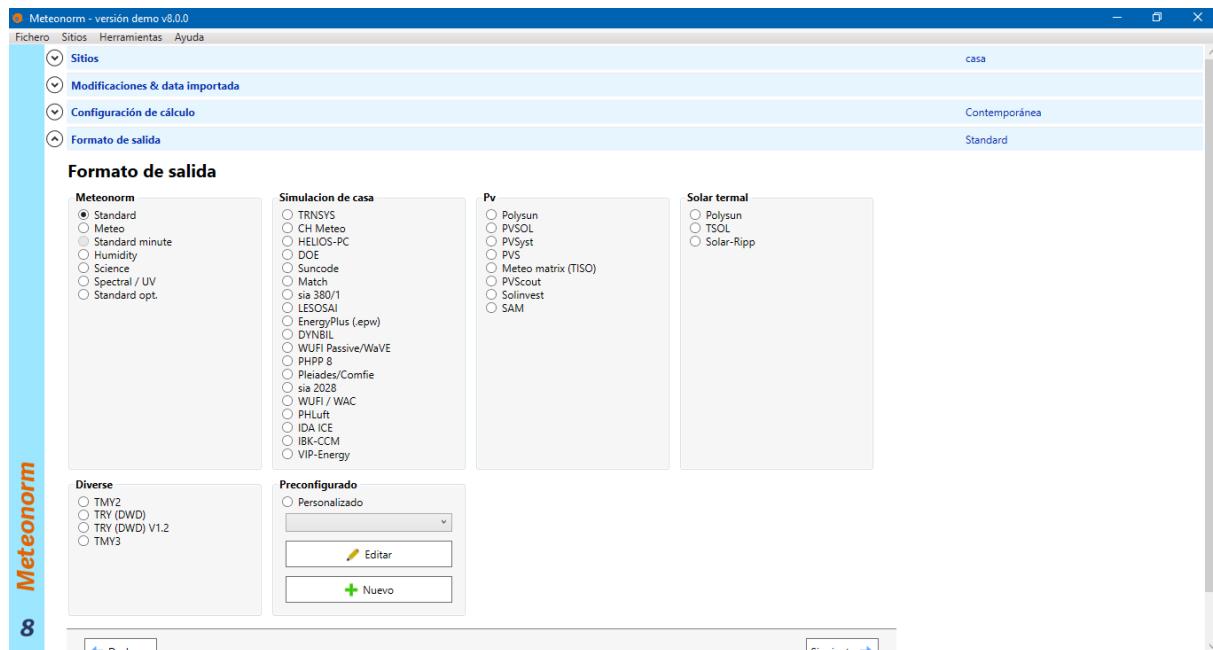
The Work is made available solely for general information purposes. Neither the World Bank, Solargis nor any of its partners and affiliates hold the responsibility for the accuracy and/or completeness of the data and shall not be liable for any errors, or omissions. It is strongly advised that the Work be limited to use in informing policy discussions on the subject, and/or in creating services that better educate relevant persons on the viability of solar development in areas of interest. As such, neither the World Bank nor any of its partners on the Global Solar Atlas project will be liable for any damages relating to the use of the Work for financial commitments or any similar use cases. Solargis has done its utmost to make an assessment of solar climate conditions based on the best available data, software, and knowledge.

Sources: Solar database and PV software © 2019 Solargis

9.2 ANEXO II: DATOS METEONORM

Se presenta a continuación capturas de pantalla de los datos de entrada y de salida del programa Meteonorm utilizados durante el desarrollo del trabajo.





casa

	Radiación	Temperatura	Precipitación	Duración de la insolación	
	Radiación global diaria	Temperatura diaria		Tabla de datos	
Enero	168	82	134	12,2	7,4
Febrero	128	75	78	12,2	7,7
Marzo	156	78	114	12,1	7,9
Abril	153	69	119	12	8,1
Mayo	170	71	149	12,1	7,6
Junio	165	63	155	11,9	6,5
Julio	173	55	180	11,9	5,4
Agosto	208	66	208	12,1	4,8
Setiembre	166	69	141	12,2	5,3
Octubre	130	73	83	12,2	7
Noviembre	125	73	78	12,1	7,4
Diciembre	147	78	104	12,1	7,7
Año	1886	854	1542	12,1	6,9

Datos de resultado

Incertidumbre de valores anuales: Gh = 6%, Bn = 13%, Ta = 0,5 °C

Tendencia de gh / década: - Variabilidad de gh / año: 6,8%

Sitios de radiación interpolados: Datos de satélite (Parte de los datos de satélite: 100%)

Temperature interpolation locations: Quito/Mariscal (5 km), Latacunga/Cotopaxi (91 km)

9.3 ANEXO III: ENCUESTA

Nº	Pregunta	Respuesta/Observaciones
1	Nº de casa	B9
2	Propietario o arrendatario	Propietario
3	Nº de años como residentes	1 año desde el inicio
4	Nº personas que residen en la vivienda	4
5	Nº de dormitorios de la vivienda	3
6	Sistema de ACS utilizado	calefón a GLP
7	Actividades en las que utiliza ACS	ducharse lavar platos lavar ropa (occasional)
8	Disposición a usar energía renovable para ACS	Sí, por los riesgos en el uso del GLP

Contestar si la respuesta a la pregunta 6 fue calefón

Nº	Pregunta	Respuesta/Observaciones
9	Fuente de energía del calefón	GLP
10	Mantenimiento del calefón	Sí
11	Frecuencia del mantenimiento	Cada vez que se daña no calienta el agua
12	Problemas presentados con el calefón	
13	Gasto promedio mensual del sistema de ACS (electricidad o GLP)	70 € el litro mensual

9.4 ANEXO IV: PROFORMAS EQUIPOS SOLARES TERMOSIFÓN

Proforma No. Referencial

Cliente:
Correo
Fecha: 19-Nov-20
Teléfono:

Proyecto: **Termosifon 300 L**

Item	Cantidad	Código	Descripción	Precio Unitario	Total
SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR DOMICILIARIO					
1	1	ACS_TER_300L	Sistema solar de termosifón compacto para producción de ACS de 300 [L] de capacidad, marca Viessmann. Incluye: estructura, 2 captadores solares de placa plana marca Viessmann , 1 tanque interacumulador de acero de 300 [L] de capacidad con recubrimiento térmico, calentador eléctrico de inmersión de 3 [kW], tubería y accesorios para hasta 2 [m] de distancia entre el termosifón y punto de consumo.	\$ 1.890,21	\$ 1.890,21
2	1	ACS_TER_MEZCL3/4	Sistema de protección ant quemaduras para ACS. Incluye: Mezcladora termostática marca RESOL de 3/4", tuberías y accesorios para conexión de la válvula termostática.	\$ 126,85	\$ 126,85
3	1	MAT	Materiales varios de instalación Termosifon	\$ 180,00	\$ 180,00
4	1	MOT	Mano de obra para instalación de sistema Termosifon	\$ 400,00	\$ 400,00
5	1	MOT	Mano de obra para instalación de sistema protección ant quemaduras	\$ 60,00	\$ 60,00
					SUBTOTAL 2.657,06
					IVA 12% 318,85
					TOTAL 2.975,91

Autopista General Rumiñahui - Puente 7
Teléfono: 02-207-0060 / 02-207-0022
www.alfasolar.com.ec

Proforma No. Referencial

Cliente:
Correo
Fecha: 19-Nov-20
Teléfono:

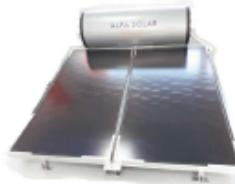
Proyecto: **Termosifon 200 L**

Item	Cantidad	Código	Descripción	Precio Unitario	Total
SISTEMA DE CALENTAMIENTO SOLAR DOMICILIARIO					
1	1	ACS_TER_200L	Sistema solar de termosifón compacto para producción de ACS de 200 [L] de capacidad, marca Viessmann. Incluye: estructura, 1 captador solar de placa plana marca Viessmann , 1 tanque interacumulador de acero de 200 [L] de capacidad con recubrimiento térmico, calentador eléctrico de inmersión de 3 [kW], tubería y accesorios para hasta 2 [m] de distancia entre el termosifón y punto de consumo.	\$ 1.552,04	\$ 1.552,04
2	1	MAT	Materiales varios de instalación Termosifon	\$ 180,00	\$ 180,00
3	1	MOT	Mano de obra para instalación de sistema Termosifon	\$ 300,00	\$ 300,00
					SUBTOTAL 2.032,04
					IVA 12% 243,84
					TOTAL 2.275,88

Autopista General Rumiñahui - Puente 7
Teléfono: 02-207-0060 / 02-207-0022
www.alfasolar.com.ec



Cliente: **Gabriela Paredes**
Fecha: **19/Nov/20**

Proforma No. **P-2020-05-0024**Proyecto: **ACS 300 L**

Item	Cantidad	Código	Descripción	Precio Unitario	Total
SISTEMA DE CALENTAMIENTO PARA PISCINA					
1	1	ACS_TER_300L	Sistema solar de termosifón compacto para producción de ACS de 300 L de capacidad, marca Viessmann. Incluye: estructura:2 captadores solares de placa plana Viessmann, 1 tanque interacumulador de acero de 300 L de capacidad con recubrimiento térmico, calentador eléctrico de inmersión de 3 kW, tubería y accesorios para hasta 2m de distancia entre termosifón y punto de consumo.	\$ 2.070,21	\$ 2.070,21
2	1	MOT	Mano de obra para instalación	\$ 300,00	\$ 300,00
Nota: El pago mediante tarjeta de crédito tiene un recargo de 10%, el pago en efectivo tiene un descuento del 5%					
SUBTOTAL 2.370,21 IVA 12% 284,43 TOTAL 2.654,64					

Autopista General Rumiñahui - Puentes 7
Teléfono: 02-207-0060 / 02-207-0022
www.alfasolar.com.ec

La última proforma corresponde al precio de los sistemas solares termosifón en caso de adquirir más de 5 unidades del mismo.

9.5 ANEXO V: PROFORMAS EQUIPOS SOLARES DE CIRCULACIÓN FORZADA



Autopista General Rumiñahui lote 3 y
 Av. Jaime Roldos
 2 070 060 2 070 022
 david@alfasolar.com.ec
 +593 992 456 033
 www.alfasolar.com.ec

Heliocol - Resol - Viessmann - Lasco - Pentair - Mecalia - Caleffi - Uponor

PROFORMA N°	REFERENCIA:
FECHA PROFORMA:	
DATOS CLIENTE	
CLIENTE:	
DNI / RUC	
DIRECCION:	CIUDAD: Mindo
PARROQUIA:	PROVINCIA:
TELEFONO:	CP:
E-MAIL:	OTROS:

Suministro e instalación de sistema de ACS por energía solar.

DESIGNACION	CANT.	P.V.P.	IMPORTE
Captador solar Viessmann de 2 m (1.980 x 1.010 x 86 mm). Área de absorbedor de 1,86m con tratamiento selectivo azul y lámina de aluminio de 0,5mm con soldadura con laser. Carcasa de aluminio anodizado y vidrio templado con bajo contenido en hierro de 3,20 mm. Aislamiento térmico de lana de vidrio de alta densidad de 30mm de fon y 20mm en los laterales. Incluye estructura de fijación en cubierta plana y 5 grados de inclinación Garantía de 10 años.	2	431	862,00
Kit de accesorios de interconexión para series de cuatro captadores, dos tapones, 1 vaina para sonda de temperatura, purgador automático para altas temperaturas, 4 llaves de corte y cruceta de bronce.	1	121	121,00
Estación FlowSol® de doble ramal para grandes instalaciones de hasta 100 m ² , que contiene todos los componentes hidráulicos esenciales para hacer funcionar un sistema de energía solar térmica: Regulador DeltaSol® SLT, Bomba integrada de alta eficiencia energética marca Wylro. Válvulas de llenado y vaciado. Grupo de seguridad con conexión para el vaso de expansión de membrana, válvula de seguridad y manómetro. Soporte mural con material de fijación. Separador de aire para purgar manualmente el sistema.	1	1128	1128,00
Vaina de inmersión de latón/cobre niquelado y 300mm de largo, rosca 1/2"	2	17,6	35,20
Válvula de llenado automática para sistemas primarios incluido accesorios, llaves de corte, check, manómetro.	1	39,6	39,60
Pasta termo conductora, indicada para sondas de temperatura en vainas de inmersión; la pasta termo conductora garantiza una buena transmisión térmica. 5g.	1	1,65	1,65
Válvula de seguridad de membrana elastomérica para instalaciones de energía solar y circuitos primarios. Cuerpo de latón y rosca hembra de 1/2". Apta para mezcla agua/glicol 50% y temperatura Max. De 160° C. Presión Max. 4 BAR.	1	39,6	39,60
Fluido calo portador propilenglicol concentrado para sistemas primarios en instalaciones solares y suelo radiante con una concentración del 100%. Bidón de 11 litros.	1	126	126,00

Deposito interacumulador solar con serpentín espiral desmontable para agua caliente sanitaria y calefacción. Fabricado en acero al carbono y recubrimiento vitrificado para instalación sobre suelo en vertical con capacidad de 300 litros. Incluye anodo electrónico y boca de hombre DN-400. Garantía de 5 años.	1	1320	13 20,00
Resistencia eléctrica de inmersión de 3kw 220v. Incluido termostato.	1	106,5	106,50
Vaso de expansión Solar de 12 litros para instalación sobre pared, conexión 3/4 macho. Incluido soporte y tubería Inox de conexión.	1	33	33,00
Tubería de cobre 3/4" con aislamiento térmico de interior y exterior de 13mm. Anclajes de sujeción isofónicos y soportes.	1	922	922,00
Pequeño material de instalación: abrazaderas, amarres, tacos, tubería eléctrica, cajas de registro IP65, rieles, cable solar, teflón líquido para altas temperaturas, termómetros, válvulas de seguridad, etc.	1	348	348,00
Instalación de todos los elementos para su correcto funcionamiento, puesta en marcha y seguimiento para una óptima vida de la instalación. Entrega de garantías de todos los elementos debidamente selladas, esquemas y manuales. Garantía de la instalación de 2 años y mantenimiento de la instalación de un periodo de 1 año.	1	940	940,00

SUBTOTAL	\$	6.022,55
IVA	\$	722,71
TOTAL	\$	6.745,26

CONDICIONES:

No se incluye trabajos de obra civil.
Se requiere en el cuarto de bombas y tanques, alimentación de 110v y 220v con sus respectivas protecciones eléctricas.

FORMA DE PAGO:

A convenir.

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS PARA EL ECUADOR DE LAS MARCAS: HELIOPOL - LASCO - IHM - GULSTREAM - MILL ROSE - NEW ENERGY - UPONOR - ISPIPE - SIASOL - RESOL - MECALIA

9.6 ANEXO VI: EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN

Cálculo de la superficie de captación mediante el método F-Chart para 5 personas con un consumo al día de 140 L.

Para la demanda mensual y la irradiación solar mensual se tiene:

Mes	Ndías	Ddía [m ³ /día]	DE mes [kWh/mes]	Di [m ³ /mes]	Gdi (0°) [kWh/m ²]	k 15°	Gdi(15°) [kWh/m ²]
ENE	31	0,14	243,66	4,34	168	1,04	174,72
FEB	28	0,14	218,72	3,92	128	1,01	129,28
MAR	31	0,14	242,66	4,34	156	0,97	151,32
ABR	30	0,14	234,83	4,20	153	0,92	140,76
MAY	31	0,14	242,15	4,34	170	0,88	149,6
JUN	30	0,14	233,37	4,20	165	0,87	143,55
JUL	31	0,14	242,66	4,34	173	0,88	152,24
AGO	31	0,14	240,64	4,34	208	0,92	191,36
SEP	30	0,14	234,83	4,20	166	0,97	161,02
OCT	31	0,14	243,66	4,34	130	1,02	132,6
NOV	30	0,14	236,29	4,20	125	1,05	131,25
DIC	31	0,14	244,17	4,34	137	1,05	143,85

Los parámetros para el cálculo de D1 y D2 conocidos son:

Ncap	SC [m ²]	SC total [m ²]	ηo	Ktotal (kWh)	Vacum	Fcacum	TACS [°C]	MAI	Fcint
2	2,01	4,02	0,74	0,00037	300,00	1,00	60	0,95	0,95

La fracción solar es:

Mes	Tred [°C]	Tamb [°C]	FCacs	D1	D2	Fracción solar	EU solar [kWh/mes]
ENE	11,6	14,2	1,10	1,93	0,41	0,98	238,92
FEB	11,9	14,4	1,11	1,59	0,41	0,85	185,13
MAR	11,8	14,4	1,10	1,67	0,41	0,88	214,63
ABR	11,8	14,4	1,10	1,61	0,41	0,86	201,38
MAY	11,9	14,4	1,11	1,66	0,41	0,88	212,31
JUN	12,1	14,5	1,12	1,65	0,42	0,87	203,22
JUL	11,8	14,2	1,11	1,68	0,41	0,89	215,42
AGO	12,2	14,7	1,12	2,13	0,42	1,04	250,54
SEP	11,8	14,5	1,10	1,84	0,41	0,95	222,97
OCT	11,6	14,1	1,10	1,46	0,41	0,79	193,26
NOV	11,5	14,3	1,09	1,49	0,40	0,81	191,36
DIC	11,5	14,4	1,09	1,58	0,40	0,85	207,72

9.7 ANEXO VII: EJEMPLO MATRIZ FLUJO DE CAJA ANUAL DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

A continuación se presenta el flujo de caja para una instalación solar de 25 años de vida útil de la casa B1, con una inversión inicial promedio de USD 2.446.88, mantenimiento anual de USD 132 y un ahorro de 24 cilindros de GLP mensuales (precio sin subvención de USD 19,33).

Años	Flujo ingresos [USD]	Flujo de egresos [USD]	Flujo de caja anual [USD]
0	-	2.446,88	-2.446,88
1	463,92	132,00	-2.114,96
2	463,92	132,00	-1.783,04
3	463,92	132,00	-1.451,12
4	463,92	132,00	-1.119,20
5	463,92	132,00	-787,28
6	463,92	132,00	-455,36
7	463,92	132,00	-123,44
8	463,92	132,00	208,48
9	463,92	132,00	540,40
10	463,92	132,00	872,32
11	463,92	132,00	1.204,24
12	463,92	132,00	1.536,16
13	463,92	132,00	1.868,08
14,00	463,92	132,00	2.200,00
15,00	463,92	132,00	2.531,92
16,00	463,92	132,00	2.863,84
17,00	463,92	132,00	3.195,76
18,00	463,92	132,00	3.527,68
19,00	463,92	132,00	3.859,60
20,00	463,92	132,00	4.191,52
21,00	463,92	133,00	4.522,44
22,00	463,92	134,00	4.852,36
23,00	463,92	135,00	5.181,28
24,00	463,92	136,00	5.509,20
25,00	463,92	137,00	5.836,12

Los valores del flujo de caja anual antes mencionados, se utilizaron para el cálculo del VAN y TIR.