



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**ESTUDIO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
PANELES HÍBRIDOS TERMO FOTOVOLTAICOS PARA
SUMINISTROS DE ELECTRICIDAD Y AGUA CALIENTE EN
UNA VIVIENDA EN LA CIUDAD DE QUITO.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

PORRAS MARTÍNEZ OSCAR JAVIER

DIRECTOR: ING. NELSON GUTIÉRREZ, MSC.

Quito, Septiembre 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2017.
Reservados todos los derechos de reproducción.

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1717644775
APELLIDO Y NOMBRES:	PORRAS MARTÍNEZ OSCAR JAVIER
DIRECCIÓN:	SIDNEY N14-182 Y AV. CARLOS MANTILLA
EMAIL:	pmej48633@ute.edu.ec / oscarjporras87@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	02 2032590
TELÉFONO MOVIL:	0982219208

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	Estudio Técnico Para La Implementación De Paneles Híbridos Termo Fotovoltaicos Para Suministros De Electricidad Y Agua Caliente En Una Vivienda En La Ciudad De Quito.
AUTOR O AUTORES:	Porras Martínez Oscar Javier
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	2017/09/20
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Nelson Gutiérrez
PROGRAMA	PREGRAD <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El estudio técnico para la implementación de paneles híbridos termo fotovoltaicos permite la generación eléctrica y térmica simultáneamente, por medio de la radiación solar. La conversión energética es similar a los paneles solares tradicionales, es así que este estudio generó energía eléctrica para autoconsumo de una vivienda y además proveyó de agua caliente sanitaria (ACS) para los habitantes de la misma. Para el sistema eléctrico en el sector urbano se ejecutó con la premisa que el sistema debe estar conectado a la red de distribución eléctrica. Con el fin

	<p>inicialmente de que el excedente de energía sea de venta. Pero al conocer que en Ecuador no existe leyes que incentiven estas prácticas como en otros países, se incluyó un dispositivo que permite la inyección cero de excedente energético, con la finalidad de no tener inconvenientes posteriores con la empresa de distribución eléctrica. Es así, que inicialmente para comenzar el proyecto se valoró la cantidad de recurso solar en el lugar donde se realizó el estudio para la vivienda. Se determinó que en el sitio existe condiciones favorables de radiación solar mensual. El dimensionamiento térmico de agua sanitaria, parte del volumen de agua al día por persona que necesita para consumo, al tener el volumen total de la vivienda, se realizó el dimensionamiento por medio del método f-chart. Es importante mencionar que el proyecto general se realizó con un factor de seguridad tal, que permita prevenir pérdidas en la conversión de la energía solar.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Fotovoltaica, Térmica, Agua caliente sanitaria, Conexión a la red.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The technical study for the implementation of hybrid photovoltaic panels allows the electrical and thermal generation simultaneously, by means of solar radiation. The energy conversion is similar to traditional solar panels, so this study generated electric energy for self-consumption of a home and also provided domestic hot water (DHW) for the inhabitants of the same. For the electrical system in the urban sector was executed with the premise that the system must be connected to the electrical distribution network. In order to initially the surplus energy is</p>

	<p>for sale. But to know that in Ecuador there are no laws that encourage these practices as in other countries, included a device that allows the zero injection of energy surplus, in order to have no further inconveniences with the electricity distribution company. Initially to begin the project was assessed the amount of solar resource in the place where the study for the house was made. It was determined that there are favorable conditions of monthly solar radiation at the site. The thermal dimension of sanitary water, part of the volume of water per day per person needed for consumption, having the total volume of the house, was carried out the sizing by means of the f-chart method. It is important to mention that the overall project was carried out with such a safety factor that it could prevent losses in the conversion of solar energy.</p>
KEYWORDS	Photovoltaic, Thermal, Hot water, Connection to the grid.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 

PORRAS MARTÍNEZ OSCAR JAVIER

1717644775

Yo, **PORRAS MARTÍNEZ OSCAR JAVIER**, CI 1717644775 autor del proyecto titulado: **Estudio Técnico Para La Implementación De Paneles Híbridos Termo Fotovoltaicos Para Suministros De Electricidad Y Agua Caliente En Una Vivienda En La Ciudad De Quito**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Mecatrónica** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 20 de septiembre del 2017

f. _____


PORRAS MARTÍNEZ OSCAR JAVIER

1717644775

DECLARACIÓN

Yo **PORRAS MARTÍNEZ OSCAR JAVIER**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



PORRAS MARTÍNEZ OSCAR JAVIER

C.I. 1717644775

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título "**Estudio técnico para la implementación de paneles híbridos termo fotovoltaicos para suministros de electricidad y agua caliente en una vivienda en la ciudad de Quito**", que, para aspirar al título de **Ingeniero Mecatrónico** fue desarrollado por **Oscar Javier Porras Martínez**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Nelson Gutiérrez

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1712465713

DEDICATORIA

El presente trabajo que, con mucha constancia y sacrificio, transcurriendo horas y horas de esfuerzo, estudio, frustración y dedicación se lo dedico a:

A mis padres por haber sido parte fundamental en el transcurso de estos años hasta la culminación de uno de los objetivos más importantes en mi vida, por haberme apoyado de forma incondicional sin ningún reproche hasta conseguir el resultado final en mi etapa universitaria, por haber dedicado su esfuerzo con el simple afán de poder cumplir mis objetivos ante todas las adversidades que se han presentado en estos años, por no haber desconfiado de mis capacidades dentro y fuera de la academia y por haberme inculcado valores para engrandecer a la sociedad como persona y como ser humano.

A mis hermanos por haber compartido conmigo tiempo en familia y nuestra juventud, por haber sido parte en los momentos difíciles, por haberme soportado mi forma de ser y proceder, y aun así brindarme su apoyo y ayuda incondicional para poder llegar a cumplir una meta más en mi vida.

Oscar Javier Porras Martínez

INDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN.....	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUCCIÓN	
2. METODOLOGÍA Y DISEÑO	
2.1 REQUERIMIENTOS	6
2.1.1 RESTRICCIONES.....	6
2.1.2 PROTOCOLO DE PRUEBAS	6
2.2 DISEÑO DEL SISTEMA	7
2.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA VIVIENDA	7
2.2.2 CÁLCULO DEMANDA DE ENERGÍA	8
2.2.2 RECURSO SOLAR DISPONIBLE EN EL SITIO DE ESTUDIO ...	8
2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	10
2.3.1 PANEL FOTOVOLTAICO TÉRMICO PV/T (ECOMESH)	10
2.3.2 PANEL FOTOVOLTAICO TÉRMICO PV/T (DUALSUN)	11
2.3.3 CRITERIOS INICIALES DEL SISTEMA	11
2.3.4 CÁLCULOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	12
2.4 DISEÑO INICIAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	12
2.4.1 PANEL FOTOVOLTAICO TÉRMICO PV/T (ECOMESH)	15
2.4.2 PANEL FOTOVOLTAICO TERMICO PV/T (DUALSUN)	16
2.5 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES Y PROTECCIONES DEL SISTEMA	17
2.5.1 TRAMO CORRIENTE CONTINUA CONEXIÓN PANEL1, PANEL12 – INVERSOR.	17
2.6 TRAMO CONEXIÓN DEL INVERSOR Y PROTECCIONES.....	19
2.6.1 CÁLCULO PROTECCIONES	21
2.7 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	21
2.8 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA TÉRMICO DE ACS	25
2.8.1 CÁLCULO DEL CONSUMO DE ACS	26
2.8.2 CÁLCULO DEL SALTO TÉRMICO	26
2.8.3 CÁLCULO DE ENERGÍA NECESARIA A CUBRIR EL SALTO TÉRMICO.....	26
2.8.4 RADIACIÓN DIARIA MENSUAL EN SUPERFICIE HORIZONTAL	27
2.8.5 INTENSIDAD ÚTIL DÍA.....	28
2.8.6 CÁLCULO DEL APORTE SOLAR	29
2.8.7 APORTE SOLAR	32
2.8.8 ENERGÍA NETA REAL DISPONIBLE DIARIA	33
2.9 CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA	35
2.9.1 SISTEMA DE ACUMULACIÓN	36
2.9.2 VÁLVULA DE CORTE	40
2.9.3 CÁLCULO DE BOMBA DE CIRCULACIÓN	40
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
3.1 ANALISIS DE RESULTADOS Y SIMULACIÓN	42
3.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO	42
3.3 SISTEMA TÉRMICO.....	46

3.4 ANALISIS ECONÓMICO	48
4.1 EMISIONES DE CO2	51
4.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	52
4.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFIA	59

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Demanda de energía para una vivienda unifamiliar.	8
Tabla 2. Radiación solar diaria promedio.	9
Tabla 3. Factor de corrección de la radiación solar “K”	9
Tabla 4. Radiación solar diaria promedio corregida.	10
Tabla 5. Características técnicas principales panel híbrido ECOMESH.....	11
Tabla 6. Características técnicas principales Panel Híbrido DUALSUN.....	11
Tabla 7. Relación de consumo vivienda/radiación disponible.	12
Tabla 8. Características técnicas inversor de corriente.	14
Tabla 9. Cálculo de sección DUALSUN.....	20
Tabla 10. Cálculo de secciones de conductores.	20
Tabla 11. Cálculo de protecciones.....	21
Tabla 12. Cálculo de pérdidas fotovoltaicas ECOMESH.	25
Tabla 13. Cálculo de pérdidas fotovoltaicas DUALSUN.	25
Tabla 14. Consumo de ACS.	26
Tabla 15. Demanda energética mensual.	26
Tabla 16. Energía para cubrir salto térmico.....	27
Tabla 17. Radiación solar global mensual.	27
Tabla 18. Datos de heliofanía en Ecuador.....	28
Tabla 19. Intensidad útil día ECOMESH.....	29
Tabla 20. Intensidad útil día DUALSUN.....	29
Tabla 21. Características térmicas.	30
Tabla 22. Rendimiento del colector ECOMESH.	32
Tabla 23. Rendimiento del colector DUALSUN.	32
Tabla 24. Aporte solar ECOMESH.	33
Tabla 25. Aporte solar DUALSUN.	33
Tabla 26. Energía neta real diaria y mensual ECOMESH.	34
Tabla 27. Energía neta real diaria y mensual DUALSUN.	34
Tabla 28. Energía neta real diaria y mensual Heat Pipe, modelo TZ47 1500.....	36
Tabla 29. Principales datos técnicos Acumulador.	37
Tabla 30. Caudales instantáneos mínimos para cada aparato.....	37
Tabla 31. Cálculo del caudal total.	38
Tabla 32. Rango de velocidad para material de tuberías.	38
Tabla 33. Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos.	39
Tabla 34. Datos técnicos Bomba.	Error! Bookmark not defined.
Tabla 35. Cálculos del sistema ECOMESH.....	42
Tabla 36. Cálculos del sistema DUALSUN.....	42
Tabla 37. Porcentaje de error de energía mensual calculada y simulada ECOMESH.	45
Tabla 38. Porcentaje de error de energía mensual calculada y simulada DUALSUN.	45
Tabla 39. Cálculo del sistema térmico ECOMESH.....	46
Tabla 40. Cálculo del sistema térmico DUALSUN.....	47
Tabla 41. Porcentaje de error sistema térmico calculado y simulado ECOMESH.....	48
Tabla 42. Porcentaje de error sistema térmico calculado y simulado DUALSUN.....	48
Tabla 43. Costo de inversión total.	49

Tabla 44. Consumo energía eléctrica con subsidio.	50
Tabla 45. Consumo de gas doméstico con subsidio.	50
Tabla 46. Consumo energía eléctrica sin subsidio.	51
Tabla 47. Consumo de gas doméstico sin subsidio.	51
Tabla 48. Cálculo de consumo de CO2 de la vivienda.	52
Tabla 49. Cálculo VAN y TIR con subsidio.	54
Tabla 50. Cálculo VAN y TIR sin subsidio.	55
Tabla 51. Venta de energía eléctrica.	56

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Estructura de panel híbrido fotovoltaico térmico.	3
Figura 2. Sistema híbrido termo fotovoltaico de electricidad y ACS conectado a la red.	3
Figura 3. Esquema metodológico del sistema.	6
Figura 4. Diagrama de bloques del Sistema general.	7
Figura 5. Ubicación Zona de estudio coordenadas GPS	7
Figura 6. Conexión paneles fotovoltaicos en serie.	14
Figura 7. Esquema del sistema fotovoltaico.	17
Figura 8. Diagrama de la trayectoria de sol.	23
Figura 9. Valores de cálculo de pérdida.	24
Figura 10. Tramos de instalación ACS y conexión paralelo de paneles PV/T.	40
Figura 11. Esquema del sistema térmico de ACS.	41
Figura 12. Pérdidas de carga con respecto a longitud de la tubería.	Error!
Bookmark not defined.	
Figura 13. Pérdidas de carga.	Error! Bookmark not defined.
Figura 14. Panorámica del lugar de estudio.	43
Figura 15. Rendimiento mensual del sistema ECOMESH.	43
Figura 16. Rendimiento mensual del sistema DUALSUN.	44
Figura 17. Rendimiento mensual cálculo y simulación ECOMESH.	44
Figura 18. Rendimiento mensual cálculo y simulación DUALSUN.	44
Figura 19. Sistema solar térmico.	46
Figura 20. Rendimiento del sistema, superficie de captación y número de paneles ECOMESH.	47
Figura 21. Rendimiento del sistema, superficie de captación y número de paneles DUALSUN.	47

RESUMEN

El estudio técnico para la implementación de paneles híbridos termo fotovoltaicos permite la generación eléctrica y térmica simultáneamente, por medio de la radiación solar. La conversión energética es similar a los paneles solares tradicionales, es así que este estudio generó energía eléctrica para autoconsumo de una vivienda y además proveyó de agua caliente sanitaria (ACS) para los habitantes de la misma. Para el sistema eléctrico en el sector urbano se ejecutó con la premisa que el sistema debe estar conectado a la red de distribución eléctrica. Con el fin inicialmente de que el excedente de energía sea de venta. Pero al conocer que en Ecuador no existe leyes que incentiven estas prácticas como en otros países, se incluyó un dispositivo que permite la inyección cero de excedente energético, con la finalidad de no tener inconvenientes posteriores con la empresa de distribución eléctrica. Es así, que inicialmente para comenzar el proyecto se valoró la cantidad de recurso solar en el lugar donde se realizó el estudio para la vivienda. Se determinó que en el sitio existe condiciones favorables de radiación solar mensual. El dimensionamiento térmico de agua sanitaria, parte del volumen de agua al día por persona que necesita para consumo, al tener el volumen total de la vivienda, se realizó el dimensionamiento por medio del método f-chart. Es importante mencionar que el proyecto general se realizó con un factor de seguridad tal, que permita prevenir pérdidas en la conversión de la energía solar.

Palabras Clave: Fotovoltaica, Térmica, Agua caliente sanitaria, Conexión a la red.

ABSTRACT

The technical study for the implementation of hybrid photovoltaic panels allows the electrical and thermal generation simultaneously, by means of solar radiation. The energy conversion is similar to traditional solar panels, so this study generated electric energy for self-consumption of a home and also provided domestic hot water (DHW) for the inhabitants of the same. For the electrical system in the urban sector was executed with the premise that the system must be connected to the electrical distribution network. In order to initially the surplus energy is for sale. But to know that in Ecuador there are no laws that encourage these practices as in other countries, included a device that allows the zero injection of energy surplus, in order to have no further inconveniences with the electricity distribution company. Initially to begin the project was assessed the amount of solar resource in the place where the study for the house was made. It was determined that there are favorable conditions of monthly solar radiation at the site. The thermal dimension of sanitary water, part of the volume of water per day per person needed for consumption, having the total volume of the house, was carried out the sizing by means of the f-chart method. It is important to mention that the overall project was carried out with such a safety factor that it could prevent losses in the conversion of solar energy.

Key words: Photovoltaic, Thermal, Hot water, Connection to the grid.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la energía es un recurso imprescindible para la vida del ser humano. Gracias a ella, se puede realizar acciones tan comunes como encender un foco, alimentar electrodomésticos, dispositivos móviles y tener agua caliente para ducharse. Esto facilita el día a día de las personas, hasta el punto de llegar a una dependencia total del mismo. Desde hace ya un tiempo atrás se observa el consumo desenfrenado de los recursos provenientes de las reservas mundiales de petróleo. Un ejemplo claro es el aumento del consumo de energía eléctrica debido al constante crecimiento urbanístico, tanto del sector residencial, como del sector industrial, requiriendo mayor demanda de energía. En Ecuador el panorama no cambia, en el país existe un excesivo consumo de electricidad, si se hace comparación con España el consumo de electricidad se ubica “3487 kWh por mes que se traduce a un gasto de 56.3 euros” (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE), 2014), a diferencia de Ecuador, en Quito un hogar consume 143.41 kW-h por mes, con un promedio de gasto de 18.92 dólares” (EEQ, 2012). De igual forma el consumo de agua, “en la ciudad de Quito por Habitante es 200 litros diarios” (EPMAPS 2014), y en España 130 litros por habitante diarios (Instituto Nacional de Estadística , 2013). Es una muestra del desperdicio que existe en el país. Con referencia al agua caliente sanitaria el consumo por persona es aproximado a “45 litros/persona/día a 60°C de temperatura” (NEC, 2011) en Ecuador y el país ibérico se consume por persona “22 litros/persona/día a 60°C” (Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE), 2013). Esto es una muestra de la escasa planeación o alternativa para realizar un plan para mejorar el uso de estos servicios básicos.

El uso de energías renovables es una alternativa para reducir el consumo de electricidad, y uno de los principales proyectos que el mundo está poniendo como prioridad para poner en marcha. Países del primer mundo priorizan la utilización de la energía solar fotovoltaica y térmica con el fin de reemplazar las fuentes tradicionales no renovables.

El diseño de un Sistema híbrido fotovoltaico térmico para generar energía eléctrica y producir agua caliente sanitaria por medio de recursos renovables, se cimienta en el proceso de captación de radiación solar, estableciendo como dato principal el lugar donde se realiza el estudio. Este caso particular propone un estudio en una parroquia rural de la ciudad de Quito, adicionalmente es una de las aplicaciones prácticas con más futuro dentro del marco urbano con el fin de reducir la dependencia de las energías tradicionales. Como parámetro principal el sistema de generación híbrido será conectado a la red eléctrica comúnmente conocido ON-GRID. Como objetivo principal en el sector de estudio es el determinar la factibilidad de la implementación de paneles híbridos termofotovoltaicos para la producción de electricidad y ACS para una vivienda unifamiliar, en la Parroquia Calderón ciudad Quito, tomando en

cuenta aspectos específicos permitirán cumplir el objetivo, tales como: determinar los niveles de radiación solar que se genera en el sector a realizar el estudio, posteriormente analizar el consumo promedio que genera la vivienda en la que se realizará el estudio, elaborar la microrred que permitirá lograr la generación solar fotovoltaica, diseñar el sistema de calentamiento de ACS y generación de electricidad, diseñar el sistema de acumulación de ACS, realizar un análisis de factibilidad económica para la implementación del proyecto en la vivienda unifamiliar a ejecutarse. En la actualidad para instalar energía solar fotovoltaica y térmica, es necesario dos instalaciones completamente independientes en el lugar donde se requiere; esto significa disponer la superficie necesaria para realizar ambas instalaciones. A diferencia de esta nueva tecnología que permite hacer este trabajo en un mismo panel.

El Ecuador por su posición geográfica tiene altos niveles de radiación solar, “su ventaja es recibir los rayos solares perpendicularmente ya que está localizado en la latitud 0°, marcando 12 horas de día y 12 horas de noche, facilitando el uso de energía solar” (Ortega, 2002). Al mencionar la importante incidencia de radiación solar en el país y específicamente en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) sector Calderón, el valor de radiación solar media anual con el que se va a realizar el diseño del sistema es de “4.25 kWh/m²” (NASA, 2017).

El panel híbrido fotovoltaico térmico (PV/T) es una combinación de los paneles solares clásicos y la tecnología solar térmica en el mismo colector. El refrigerante que usa estos paneles es agua, cuyo fin es aumentar el rendimiento de las láminas fotovoltaicas y la obtención de energía térmica útil. “La Irradiación incidente sobre el área de captación (Paneles fotovoltaicos) aproximadamente, es 15% de aprovechable con tecnología fotovoltaica, parte se pierde por reflexión (entorno al 5%) y el resto es disipado en forma de calor” (Joshi, Iwari, Tiwari, Dincer, & Reddy, 2008). Las láminas fotovoltaicas están adheridas a tuberías por donde circula el agua que las enfría. Al calentarse los paneles el calor se disipa por su cara superior y en la parte posterior, se disipará el calor generado por el fluido que recorre por el panel. En este caso específico estos paneles recuperan ese calor que se disipa en la parte superior, aumentando considerablemente su eficiencia energética comparado con los paneles solares tradicionales.

El panel Híbrido fotovoltaico térmico (PV/T) Figura 1 está constituido estructuralmente por un laminado fotovoltaico de baja reflexión en la parte superior del panel, seguido de este una placa de aluminio absorbente. Entre el absorbente se encuentra los conductos de cobre de alta resistencia en contacto total con el absorbedor, donde existe la entrada de agua fría en un extremo y en el otro la salida de agua caliente, y entre ellos unos conductos

interconectados que permiten la transmisión de forma rápida y efectiva, traspasando todo el panel. En la parte posterior se encuentra una placa de aislamiento, todo esto va con un marco de aluminio negro inoxidable, construida en una sola pieza para resistir la presión y el vacío.

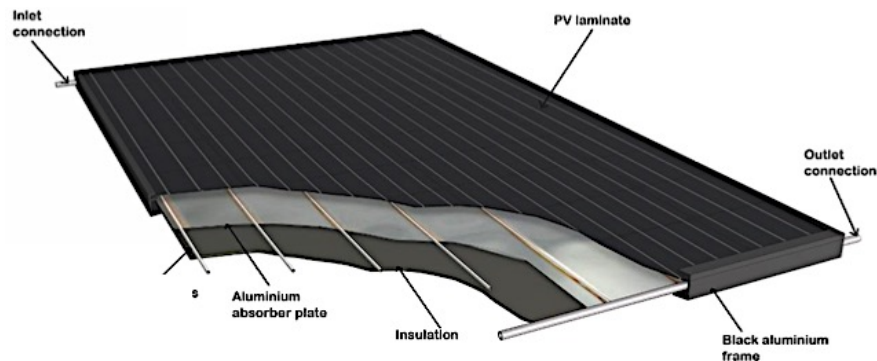


Figura 1. Estructura de panel híbrido fotovoltaico térmico.
(Hybrid PV-T Solar Technology - Power and Heat with Solar Angel PV-T, 2016)

Si bien los paneles híbridos fotovoltaicos térmicos, son dispositivos relativamente nuevos, su principio es el mismo a los paneles fotovoltaicos, esto con respecto a su forma de instalación, solo a diferencia de unos pocos elementos al proyecto de generación a realizar.

El sistema híbrido fotovoltaico térmico conectado a la red se puede apreciar en la Figura 2, en este caso se divide lo eléctrico y lo térmico, por lo tanto; en el sistema se detalla la entrada de alimentación: energía fotovoltaica, la parte eléctrica pasa por un regulador, seguido de esto un inversor esto permite transformar la energía de corriente directa (CC) a corriente alterna (AC), esta es la que se suministrará en la vivienda alimentando los dispositivos que esta contenga, con respecto a la parte térmica después de recorrer el fluido por los paneles PV/T, este se almacena en un acumulador, y cuando el usuario requiera de agua caliente sanitaria suplir la necesidad. El proyecto en general garantiza la disponibilidad de energía eléctrica y agua caliente para la vivienda, por medio de tecnología fotovoltaica, estas funcionan en base a principios físicos mediante celdas de semiconductores en el caso fotovoltaico.

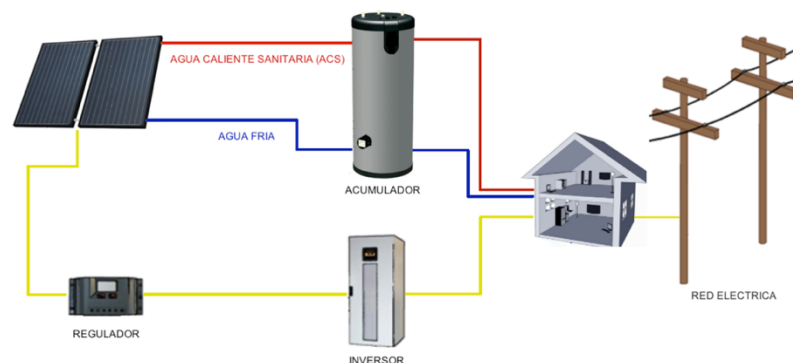


Figura 2. Sistema híbrido termo fotovoltaico de electricidad y ACS conectado a la red.

Como punto importante el sistema está conectado a la red de distribución eléctrica, cabe mencionar que existen dos tipos de sistemas; aislados de la red o los conectados a la red eléctrica, los sistemas aislados a la red, son proyectos que permiten generar energía eléctrica en lugares o zonas, donde la red de distribución eléctrica no cubre ciertos lugares o es inexistente. Esto quiere decir que son proyectos de generación independientes y autosustentables, por lo general son desarrollados en las zonas rurales y comunidades apartadas. Poseen en su diseño su propio almacenamiento (baterías), que permite guardar la energía recolectada en las horas de sol y posteriormente brindarla cuando el usuario la requiera. Se puede acotar que los sistemas de generación pueden ser: sistemas fotovoltaicos, térmicos y eólicos respectivamente.

Un sistema conectado a la red consiste básicamente en un generador de energía acoplado a un inversor, este opera de forma paralela con la red de distribución eléctrica convencional. El concepto de inyección a la red tiene un amplio margen de aplicaciones, desde pequeños sistemas de kilo watts pico (KWp) de potencia instalada hasta centrales de varios mega watts pico (MWp).

Países y regiones como por ejemplo Europa, tienen establecidas normas para este tipo de proyectos de generación eléctrica. España se regula con normativa UNE-EN 62466 Sistemas fotovoltaicos conectados a red. Requisitos mínimos de documentación, puesta en marcha e inspección de un sistema. Las instalaciones de hasta 100kW cumplirán con el Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, capítulo 3 "Condiciones técnicas de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red en baja tensión" en los artículos 8 y 9 mencionan como puntos importantes lo siguiente:

"El funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas no deberá provocar en la red averías, disminuciones de las condiciones de seguridad ni alteraciones superiores a las admitidas por la normativa que, de acuerdo con la disposición adicional única del presente Real Decreto" (Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid y Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, 2001).

"Se podrán interconectar instalaciones fotovoltaicas en baja tensión siempre que la suma de sus potencias nominales no exceda de 100 kVA" (Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid y Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, 2001).

"Si la potencia nominal de la instalación fotovoltaica a conectar a la red de distribución es superior a 5kW" (Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid y Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del

Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, 2001), la instalación fotovoltaica a la red será trifásica. Dicha conexión se podrá realizar mediante uno o más inversores monofásicos de hasta 5kW, a las diferentes fases, o directamente un inversor trifásico.

Como se ha indicado, otros países presentan normativas con el fin de permitir el uso de energías alternativas, de esta forma regulándolas para mantener un equilibrio en sistemas de generación con energías renovables y la red eléctrica que comúnmente se utilizan. En Ecuador el panorama es muy distinto, en la actualidad se ha hecho común hablar acerca de las energías renovables y en el país se observa proyectos referentes al mismo. Pero al llegar a conocer o regirse en parámetros como en países que ya tienen normativas, es lamentable conocer que no existe por el momento una ley o normativa que regule estas nuevas propuestas de generación eléctrica, orientada en sistemas conectados a la distribución eléctrica. Esto tiene como desventaja al momento de en la instalación tener un exceso de energía, que como en otros países se inyecta esa energía sobrante a la red eléctrica. Como se mencionó antes al no existir normativas en Ecuador, para prevenir la inyección de energía a la red, se utiliza un dispositivo que permite inyección cero a la red. Mencionado dispositivo es muy común España, por motivos de regulación en dicho país, permite a sistemas similares al que se propone que puedan funcionar sin tener inconvenientes con la empresa de distribución eléctrica.

2. METODOLOGÍA Y DISEÑO

Para el diseño de un sistema híbrido térmico fotovoltaico la metodología en V define un procedimiento uniforme para el desarrollo del proyecto, es una sucesión de subprocesos con la intención de describir el sistema a realizar. Se describen los requerimientos y parámetros del sistema, adicionalmente permite señalar procesos realizados en el estudio, fase de pruebas, obtención de datos relevantes y simulación.

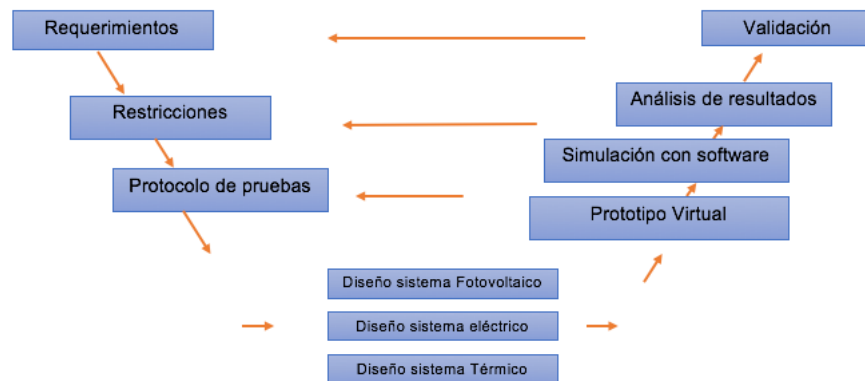


Figura 3. Esquema metodológico del sistema.

2.1 REQUERIMIENTOS

Para el desarrollo del estudio se toma en cuenta los requerimientos necesarios como punto de partida. Al detallar condiciones del lugar de estudio permitirá conocer los procedimientos a tomar, a su vez identificar las restricciones que posee el lugar de implementación del estudio. Las cuales se enlista a continuación:

- El montaje de todos los dispositivos (paneles, acumulador, etc.) del estudio debe ser colocado en la parte superior de la vivienda (terraza).
- El sistema de brindar energía a 120 V/ 60 Hz corriente alterna (CA).
- El agua caliente sanitaria debe abastecer para cinco personas a una temperatura de 60 °C máxima.
- El cableado del sistema debe ser integrado a la instalación existente de la vivienda.

2.1.1 RESTRICCIONES

- El área de implementación en la vivienda es reducida, se tiene como alternativa montar los paneles fotovoltaicos térmicos en el techo y los componentes del sistema térmico en la terraza de la vivienda.
- Se desea mantener en lo posible la tubería ya existente de la vivienda, cabe mencionar que la tubería de agua caliente es cobre de 1/2 pulgada y la de agua fría es PVC de igual manera 1/2 pulgada.

2.1.2 PROTOCOLO DE PRUEBAS

- El dimensionamiento fotovoltaico se valida con el software Pvsol.
- El dimensionamiento térmico se valida con el software Tsol.

2.2 DISEÑO DEL SISTEMA

El diseño del sistema inicialmente requiere de la ubicación, ya que es necesario para el análisis del recurso energético disponible en la zona. Partiendo de esto se realiza un análisis con el fin de determinar los componentes que se utiliza en el diseño que se desea aplicar. Además, el estudio del uso de paneles solares para la generación eléctrica, esto hace referencia al número de paneles solares que necesita la vivienda y de igual manera la parte térmica. Luego se realiza el diseño eléctrico, posteriormente el diseño térmico.

En la Figura 4 se presenta el diagrama de bloques del sistema fotovoltaico y térmico, además de los componentes que formaran parte del sistema.

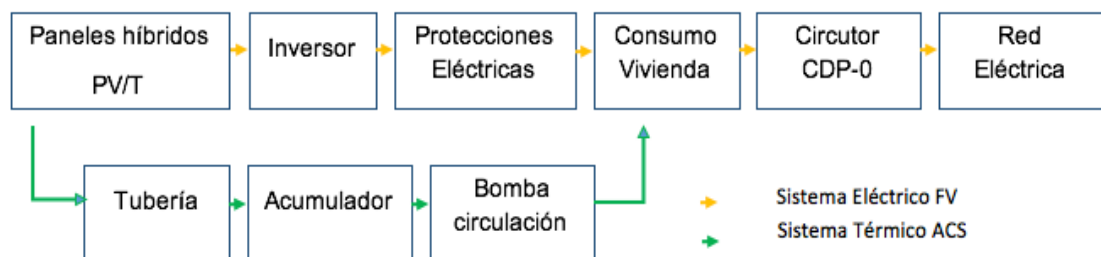


Figura 4. Diagrama de bloques del Sistema general.

2.2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA VIVIENDA

La ubicación geográfica donde se realiza el estudio del proyecto se encuentra ubicado al Noreste del Distrito Metropolitano de Quito, en el barrio San José, parroquia de Calderón, provincia de Pichincha. El sitio tiene un clima templado en el día-tarde; mientras que en la noche son un poco frías con una “temperatura promedio anual de 7.5 °C” (CLIMATE-DATA.ORG, 2015).



Figura 5. Ubicación Zona de estudio coordenadas GPS (Google Earth, 2016)

Las coordenadas del lugar de estudio del barrio San José son 0° 5' 19" S, 78° 26' 25.35" W. Limita al norte con la parroquia San Antonio de Pichincha, al sur Llano Chico, al este con la parroquia de Puembo, y al oeste con Carcelen. “Posee un área de 7890 hectáreas y alcanza una altura máxima de 2659

metros y la población es de 85000 habitantes” (Distrito Metropolitano de Quito, 2014).

2.2.2 CÁLCULO DEMANDA DE ENERGÍA

El consumo de energía estimado se detalla en la siguiente Tabla 1, estos son los dispositivos y su uso estimado en horas día en la vivienda donde se realiza el sistema de generación.

Tabla 1. Demanda de energía para una vivienda unifamiliar.

Dispositivos	Unidades	Potencia Unitaria (W)	Potencia Total (W)	Tiempo estimado uso diario (h-día)	Energía al día (Wh)
Foco Ahorrador 20 w	13	20	260	3	780
Foco Ahorrador 25 w	9	25	225	3	675
Microonda	1	700	700	0.2	140
TV Plana 45"	2	110	220	3	660
Licuadaora	1	600	600	0.1	60
Computador Portátil	4	65	260	3	780
TV Normal	1	130	130	2	260
Refrigeradora	1	575	575	8	4600
Lavadora	1	660	660	0.3	198
Total			3630		8153

(Calderón, Arredondo, Cadenas, & Mayagoitia, 2017)

2.2.2 RECURSO SOLAR DISPONIBLE EN EL SITIO DE ESTUDIO

La ciudad de Quito y específicamente Calderón posee un clima subtropical, tiene ligeras variaciones de temperatura respecto una con otra, las que por lastima no se tiene información verificada. La ciudad de Quito presenta dos estaciones en el año: invierno con precipitación de lluvias algunas con mayor duración respecto a otras; y, el verano acompañado de sol intenso y vientos fuertes, tiene una duración aproximada de cuatro meses entre junio y septiembre, en el cual se presentan temperaturas altas.

Para conocer la radiación diaria las coordenadas geográficas del lugar a realizar. Usando la página web del Centro de datos científicos atmosféricos de la NASA, se determina los niveles de radiación en el lugar de estudio en la Tabla 2. Así como el promedio anual de radiación, datos recopilados de los últimos diez años.

Tabla 2. Radiación solar diaria promedio.

MES	Radiación Solar Diaria Horizontal (kWh/m ² /día)
Enero	4.14
Febrero	4.34
Marzo	4.55
Abril	4.33
Mayo	4.12
Junio	4.02
Julio	4.27
Agosto	4.46
Septiembre	4.27
Octubre	4.24
Noviembre	4.30
Diciembre	3.98
	4.25

(NASA, 2017)

Al disponer de los datos de radiación solar mensual y el promedio, es necesario mencionar que se implementan en el techo de la vivienda, por lo que es necesario determinar que ángulo de inclinación posee. El techo tiene una inclinación de 15°, esto lleva a calcular los valores de radiación que se obtuvo previamente. A continuación, “se presenta en la Tabla 3, valores que puede tomar el factor de corrección de la radiación solar “K”, dependiendo del ángulo de inclinación en grados de los paneles, considerando una latitud de 0°” (Fedeta, 2015).

Tabla 3. Factor de corrección de la radiación solar “K”

Inclinación	Latitud 0°											
	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
30	1.02	0.97	0.88	0.79	0.71	0.68	0.70	0.78	0.88	0.97	1.03	1.05

(Fedeta, 2015)

Teniendo en cuenta este dato de factor de corrección de la radiación solar “K” en la Tabla 4 se muestra el cálculo de la radiación solar diaria inclinada, además radiación promedio, radiación mínima y máxima en el lugar donde se realiza el sistema.

Tabla 4. Radiación solar diaria promedio corregida.

MES	Radiación Solar Diaria Horizontal (kWh/m ² /día)	Ángulo de inclinación para factor K a 15°	Radiación solar global diaria sobre la superficie inclinada (kWh/m ² /día)
Enero	4.14	1.04	4.31
Febrero	4.34	1.01	4.38
Marzo	4.55	0.97	4.41
Abril	4.33	0.92	3.98
Mayo	4.12	0.88	3.63
Junio	4.02	0.87	3.50
Julio	4.27	0.88	3.76
Agosto	4.46	0.92	4.10
Septiembre	4.27	0.97	4.14
Octubre	4.24	1.02	4.32
Noviembre	4.30	1.05	4.52
Diciembre	3.98	1.05	4.18
Promedio	4.25		4.10
Mínimo			3.50
Máximo			4.52

2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El diseño del sistema fotovoltaico se analizó en primer caso por parte de la disponibilidad, esto quiere decir la existencia de paneles fotovoltaicos térmicos (PV/T). La búsqueda se centró en empresas que manufacturen estos dispositivos, encontrando dos ENDEF y SOLAIRE 2G. De las empresas mencionadas se pudo tener contacto para solicitar especificaciones técnicas y además precio venta al público. Al encontrar las pocas opciones de este tipo de dispositivos, y con el afán de hacer una comparación, el dimensionamiento se realizará para los dos paneles fotovoltaicos térmicos con el fin de demostrar las ventajas tanto de un panel como el otro, es así que se realizará el dimensionamiento fotovoltaico y térmico.

A continuación, se presentan las características técnicas de los paneles antes mencionados.

PANEL FOTOVOLTAICO TÉRMICO PV/T (ECOMESH)

El panel solar Híbrido de marca **ECOMESH** es de fabricación española y patentada por Endef, es un panel policristalino, posee las siguientes características técnicas principales, las cuales se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Características técnicas principales panel híbrido ECOMESH.

Potencia Máxima (Pmax)	255 W
Voltaje en Máxima Potencia (Vmp)	31.65 V
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	38.58 V
Intensidad de cortocircuito (Isc)	9.06 A
Intensidad Máxima Potencia (Imp)	8.06 A
Dimensiones	1645 x 978 x 118 mm
Superficie	1,61 m ²
Peso lleno líquido	51.9 Kg

(EndeF, 2016)

PANEL FOTOVOLTAICO TÉRMICO PV/T (DUALSUN)

El panel solar Híbrido de marca **DUALSUN** es de fabricación francesa y patentada por Solaire 2G, es un panel monocristalino, posee las siguientes características técnicas principales, que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Características técnicas principales Panel Híbrido DUALSUN.

Potencia Máxima (Pmax)	250 W
Voltaje en Máxima Potencia (Vmp)	30.7 V
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	38.5 V
Intensidad de cortocircuito (Isc)	8.55 A
Intensidad Máxima Potencia (Imp)	8.15 A
Dimensiones	1677 x 990 x 40 mm
Superficie	1.66 m ²
Peso lleno líquido	31.7 Kg

(Solaire 2G, 2016)

2.3.3 CRITERIOS INICIALES DEL SISTEMA

Dimensionar el sistema de generación fotovoltaica es uno de los pasos necesarios, sin embargo, es fundamental tener el recurso solar que tiene el lugar de estudio. Es por eso que la radiación promedio disponible en la zona de estudio es 4.10 kWh/m²/día. Seguido de esto es indispensable conocer el valor del mes más desfavorable para con este realizar el cálculo con el fin de cubrir las necesidades energéticas de la vivienda. En este caso el mes más desfavorable se observa en la Tabla 5 que es en junio con 3.50 kWh/m²/día. Esto permite asegurar mucho más el sistema y cubrir la demanda en la vivienda.

Adicional a lo antes mencionado, a partir del cálculo que se realizó del consumo

energético teórico de la vivienda, es necesario determinar un factor de seguridad, con el fin de tener condiciones de trabajo seguras para el diseño. Es pertinente mencionar que se usará, “un factor de seguridad (FS=1.1) adecuado sistemas de generación fotovoltaica ” (Castejón & Santamaría , 2010).

$$\text{Consumo Energía al día}_{real} = \text{Consumo Energía día}_{comp} * FS \quad [1]$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo Energía al día}_{real} &= 8153 \text{ Wh/día} * 1.1 \\ &= 8.97 \text{ kWh/día} \end{aligned}$$

$$\text{Consumo Energía anual}_{real} = 3274.05 \text{ kWh/año}$$

2.3.4 CÁLCULOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Relación Consumo Vivienda/Radiación Disponible:

La estimación de consumo de la vivienda se compara entre la radiación disponible, se tomará el valor mayor, y se denomina P_{máx}. En el caso específico del sistema, es el mes de menor radiación como se muestra en la Tabla 7 valor P_{máx} es 2.56.

Tabla 7. Relación de consumo vivienda/radiación disponible.

MES	Radiación solar global diaria sobre la superficie inclinada(kWh/m2/día)	Consumo Energía al día vivienda compensado (kWh)	Relación de consumo/radiación disponible (P)
Enero	4.31	8.97	2.08
Febrero	4.38	8.97	2.05
Marzo	4.41	8.97	2.03
Abril	3.98	8.97	2.25
Mayo	3.63	8.97	2.47
Junio	3.50	8.97	2.56
Julio	3.76	8.97	2.39
Agosto	4.10	8.97	2.19
Septiembre	4.14	8.97	2.17
Octubre	4.32	8.97	2.08
Noviembre	4.52	8.97	1.98
Diciembre	4.18	8.97	2.15
Mínimo			1.98
Máximo			2.56

2.4 DISEÑO INICIAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El dimensionamiento se realiza con dos tipos de PV/T. Esto permite hacer una comparación con respecto a sus características técnicas y su desempeño en el sistema.

Como punto de partida es necesario determinar el número de paneles, es así que se usa el valor de la potencia en watts de cada panel, tal como se detalló en la Tabla 5 y Tabla 6.

Cálculo Número de Paneles Fotovoltaicos (ECOMESH):

$$Np = \frac{1.1 * Pmax}{Potencia\ de\ panel} \quad [2]$$
$$Np = \frac{1.1 * 2.56}{255\ Wp} = 11.05 \approx 12\ paneles$$

Cálculo Número de Paneles Fotovoltaicos (DUALSUN):

$$Np = \frac{1.1 * Pmax}{Potencia\ de\ panel} \quad [3]$$
$$Np = \frac{1.1 * 2.56}{250\ Wp} = 11.27 \approx 12\ paneles$$

Al conocer el número de módulos que necesita la vivienda por medio de la potencia de consumo por hora, es indispensable conocer el voltaje del sistema. Para ello, buscar inversores monofásicos es una de las premisas que da punto de partida para efectos del proyecto. Es necesario indicar que la potencia de todos los aparatos de la vivienda es 3630 W, lo que obliga a encontrar un inversor de grandes valores de potencia. Además, la mayoría de este tipo de inversores son de alto voltaje, es así que al multiplicar el voltaje del panel solar por el número de módulos con el fin de determinar el voltaje del sistema.

Cálculo de Voltaje total de paneles fotovoltaicos conectados en serie (ECOMESH):

$$Voltaje_{total} = Número_{paneles} * Voltaje\ de\ panel_{Voc} \quad [4]$$
$$Voltaje_{total} = 12 * 38.58\ V = 462.96\ V$$

Cálculo de Voltaje total de paneles fotovoltaicos conectados en serie (DUALSUN):

$$Voltaje_{total} = Número_{paneles} * Voltaje\ de\ panel_{Voc} \quad [5]$$
$$Voltaje_{total} = 12 * 38.5\ V = 462\ V$$

Mencionar también que, al conocer este particular, se realiza la conexión de los paneles fotovoltaicos en serie, en la Figura 6 se indica el número de paneles y la conexión antes indicada.

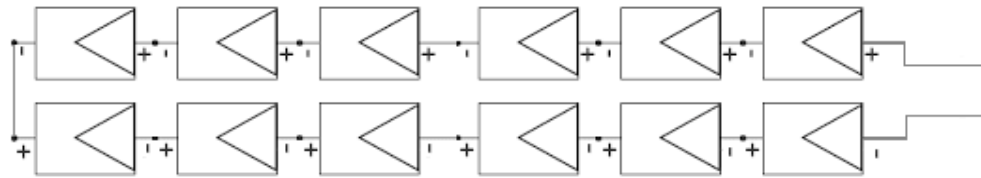


Figura 6. Conexión paneles fotovoltaicos en serie.

Cálculo de Inversor:

Determinar el inversor que necesita el sistema, se requiere un dato inicial para efectuar el cálculo. La potencia total de los dispositivos que posee la instalación en la Tabla 1 se observa el dato principal, adicional se multiplica con un coeficiente de simultaneidad, para “proteger en un caso hipotético que se enciendan dispositivos al mismo tiempo. Además, los inversores están preparados para abastecer una potencia puntual del doble de su potencia nominal durante un periodo de tiempo determinado” (Castejón & Santamaría , 2010).

$$Potencia_{inversor} = Potencia_{total} * Factor\ de\ seguridad \quad [6]$$

$$Potencia_{inversor} = 3630\ W * 1.2 = 4.36\ kW$$

Se obtiene una la carga total es 3630 W, además se multiplica por un factor de seguridad para obtener 4.36 kW. La potencia del inversor que se utilice debe ser superior a la carga calculada de acuerdo a los requerimientos.

El inversor de Marca Zigor Solar, Modelo HIS1 COOMPACT 7, desempeña con los requisitos de diseño del sistema de generación eléctrica. En la Tabla 8 se muestra las siguientes especificaciones técnicas.

Tabla 8. Características técnicas inversor de corriente.

Modelo	HIS1 COMPACT 7
Potencia CA	6.6 kW
Tensión / Frecuencia de Salida	100 -120 -220 -230 AC / 50Hz-60Hz
Rango de tensión de entrada	150 - 450 Vdc
Tensión Máxima DC	500 Vdc
Eficiencia Max	99%
Factor de potencia	1
Temperatura de funcionamiento	-10 °C a +50 °C

(Zigor Corporación S.A., 2016)

2.4.1 PANEL FOTOVOLTAICO TÉRMICO PV/T (ECOMESH)

Carga Diaria Corriente del Sistema:

Encontrar la carga diaria del sistema es necesario conocer la potencia del sistema, para a su vez buscar el inversor que cumpla con el requerimiento. Teniendo las características de inversor, y específicamente del voltaje nominal para que opere el dispositivo antes mencionado, se procede con el cálculo tomando de dato el voltaje del rango nominal de 450 V.

$$Carga\ diaria\ corriente = \frac{Consumo\ Energía\ al\ día_{real}}{Voltaje\ CD\ Sistema_{inversor}} \quad [7]$$

$$Carga\ diaria\ corriente = \frac{8,968.3\ Wh/día}{450\ V} = 19.93\ Ah$$

Carga Diaria Corriente del Sistema Corregida:

$$Carga\ diaria\ corregida\ corriente = Carga\ diaria\ corriente * FS \quad [8]$$

$$Carga\ diaria\ corregida\ corriente = 19.93\ Ah * 1.2 = 23.90\ Ah$$

Cálculo de Horas de Sol Pico:

Una vez que se conoce el consumo diario real de la vivienda, se debe definir la hora sol pico (Hsp) que es el “número de horas equivalentes que tendría que brillar el sol a una intensidad de 1000 W/m² para obtener la insolación total de un día” (Castejón & Santamaría , 2010). Para encontrar el número de horas sol pico, se dividió la radiación solar determinado de la zona de estudio entre la irradiación solar constante de 1000 W/m² y tener la cantidad de horas a lo largo del día.

$$Hsp = \frac{Radiación\ Solar}{1000\ W/m^2} \quad [9]$$
$$Hsp = \frac{3500\ Wh/m^2}{1000\ W/m^2} = 3.5\ Horas$$

Cálculo de Corriente Pico del Sistema Fotovoltaico:

$$Corriente\ Pico\ del\ sistema\ FV = \frac{Carga\ Diaria\ corriente}{Hsp} \quad [10]$$

$$Corriente\ Pico\ del\ sistema\ FV = \frac{23.90\ Ah}{3.5\ h} = 6.83\ A$$

Cálculo Número de Paneles Fotovoltaicos por Corriente:

El cálculo del número de paneles se tiene referencia el dato de la corriente pico del sistema, además la Intensidad máxima de potencia del panel. El cálculo se realiza con la siguiente expresión:

$$\text{Número de Paneles}_{\text{corriente}} = \frac{\text{Corriente Pico sistema}}{\text{Corriente Módulo}_{\text{Imp}}} \quad [11]$$

$$\text{Número de Paneles}_{\text{corriente}} = \frac{6.83 \text{ A}}{8.06 \text{ A}} = 0.85 \approx 1$$

Cálculo Número de Paneles Fotovoltaicos por Voltaje que se dan en serie:

Permite determinar el número de paneles entre el voltaje del sistema y el voltaje del módulo, además es necesario al conocer el voltaje nominal del inversor a utilizar. El cálculo se realiza con la siguiente expresión:

$$\text{Número de Paneles}_{\text{voltaje}} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje Módulo}_{\text{Voc}}} \quad [12]$$

$$\text{Número de Paneles}_{\text{voltaje}} = \frac{450 \text{ V}}{38.58 \text{ V}} = 11.66 \approx 12$$

Al observar que el número de paneles por voltaje, y hacer una comparación con el cálculo por radiación, se utilizará por seguridad 12 paneles.

2.4.2 PANEL FOTOVOLTAICO TERMICO PV/T (DUALSUN)

Cálculo Número de Paneles Fotovoltaicos por Corriente:

$$\text{Número de Paneles}_{\text{corriente}} = \frac{\text{Corriente Pico sistema}}{\text{Corriente Módulo}_{\text{Imp}}} \quad [13]$$

$$\text{Número de Paneles}_{\text{corriente}} = \frac{6.83 \text{ A}}{8.15 \text{ A}} = 0.84 \approx 1$$

Cálculo Número de Paneles Fotovoltaicos por Voltaje

$$\text{Número de Paneles}_{\text{voltaje}} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje Módulo}_{V_{oc}}} \quad [14]$$

$$\text{Número de Paneles}_{\text{voltaje}} = \frac{450 \text{ V}}{38.5 \text{ V}} = 11.69 \approx 12$$

2.5 DIMENSIONAMIENTO DE CONDUCTORES Y PROTECCIONES DEL SISTEMA

En cualquier instalación eléctrica, debe existir protecciones, norma de seguridad que permite salvaguardar los dispositivos que se encuentran en el sistema y los dispositivos en la vivienda. Para el cálculo de la sección mínima de un conductor eléctrico, se tomó en cuenta que la caída de tensión sea menor al límite permisible y que el nivel de corriente tenga un factor de seguridad correspondiente al 25%.

Para el dimensionamiento de las secciones del sistema fotovoltaico se efectuó el cálculo por tramos de línea, en la figura 7 se presenta el esquema eléctrico.

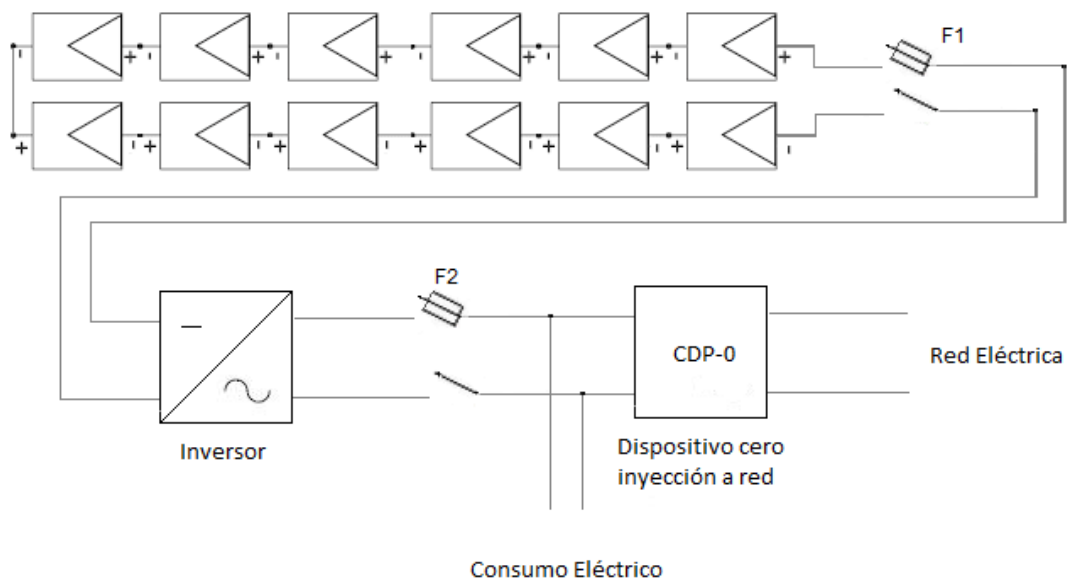


Figura 7. Esquema del sistema fotovoltaico.

$$I_{mp} = 8.06 \text{ A} \quad [15]$$
$$I_{mp} = 1.25 * 8.06 \text{ A} = 10.08 \text{ A}$$

2.5.1 TRAMO CORRIENTE CONTINUA CONEXIÓN PANEL1, PANEL12 – INVERSOR.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

$$I_{mp} = 8.06 \text{ A} \quad [16]$$
$$I_{mp} = 1.25 * 8.06 \text{ A} = 10.08 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{Longitud}_1 &= 6 \text{ m} \\ \text{Longitud}_t &= 16 \text{ m} \end{aligned}$$

Cálculo de Caída de Tensión:

$$\Delta U = \frac{\Delta U_{\%}}{L} \quad [17]$$

Donde:

ΔU : Caída de tensión por unidad de longitud

$\Delta U_{\%}$: Caída de tensión máxima permitida

L : Longitud del tramo de línea eléctrica corriente continua

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{1,5\%}{16 \text{ m}} \\ \Delta U &= 0,09 \text{ \%}/\text{m} \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\%1} = \Delta U * L = 0,09 \text{ \%}/\text{m} * 6 \text{ m} = 0,5\%$$

Cálculo sección mínima de conductores:

Para este cálculo la fórmula de la sección del conductor en corriente continua, necesita de los datos de "corriente, voltaje del sistema, además la caída de tensión y conductividad del conductor $58 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$ " (Castejón & Santamaría , 2010).

$$S_1 = \frac{200 * L_1 * I}{\Delta U_{\%} * V * \gamma_{\theta}} \quad [18]$$

Donde:

S : Sección Conductor

L : Longitud del tramo de línea eléctrica corriente continua

I : Intensidad de la línea

$\Delta U_{\%}$: Caída de tensión

V : Tensión de la línea

γ_{θ} : Conductividad del conductor a temperatura de servicio ($\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$)

$$S_1 = \frac{200 * 9 \text{ m} * 10,08 \text{ A}}{0,5\% * 400 \text{ V} * 58 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2} = 1,56 \text{ mm}^2$$

Cálculo protecciones:

Para el cálculo de fusibles en el sistema se aplicó la fórmula en base a la corriente soportada y la constante de protección, la cual va en un "rango de 1.5 a 2.5" (Castejón & Santamaría , 2010).

Protección Corriente Continua Panel1, Panel12 – Inversor F1:

$$I_F = FS * I_N \quad [19]$$

Donde:

I_F : Corriente de protección de fusible
 FS : Constante de protección (1.5 – 2.5)
 I_N : Corriente nominal

$$I_F = 1.5 \times 8.06 = 12.09 \text{ A}$$

2.6 TRAMO CONEXIÓN DEL INVERSOR Y PROTECCIONES

Corriente del inversor en corriente alterna:

$$I_{inv} = \frac{P_n}{\sqrt{3} * V} \quad [20]$$
$$I_{inv} = \frac{6600}{\sqrt{3} * 120 \text{ V}}$$
$$I_{inv} = 31.75 \text{ A}$$
$$I_{ca} = 1.25 * 31.75 \text{ A} = 39.68 \text{ A}$$

$$Longitud_2 = 10 \text{ m}$$

$$Longitud_t = 16 \text{ m}$$

Cálculo de caída de tensión:

$$\Delta U = \frac{\Delta U_{\%}}{L} \quad [21]$$

Donde:

ΔU : Caída de tensión por unidad de longitud
 $\Delta U_{\%}$: Caída de tensión máxima permitida
 L : Longitud del tramo de línea eléctrica corriente continua

$$\Delta U = \frac{1.5\%}{16 \text{ m}}$$
$$\Delta U = 0.09 \text{ \%}/\text{m}$$

$$\Delta U_{\%1} = \Delta U * L = 0.09 \text{ \%}/\text{m} * 10 \text{ m} = 0.9\%$$

Cálculo sección mínima de conductores:

Para este cálculo la fórmula de la sección del conductor para el tramo del inversor, necesita la potencia nominal y la tensión nominal de la red este caso 120 V corriente alterna, además el factor de potencia.

$$S_2 = \frac{100 * L_2 * I_2}{\Delta U_{\%} V \gamma_{\theta}} \quad [22]$$

Donde:

S: Sección Conductor

L: Longitud del tramo de línea eléctrica corriente alterna

I: Intensidad de la línea

$\Delta U_{\%}$: Caída de tensión

V: Tensión nominal de la red eléctrica

γ_{θ} : Conductividad del conductor a temperatura de servicio (m / Ω mm²)

$$S_2 = \frac{\sqrt{3} * 100 * 10 \text{ m} * 39.68 \text{ A}}{0.9\% * 120 \text{ V} * 58 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2} = 10.97 \text{ mm}^2$$

En la Tabla 9 se muestra los resultados de los cálculos efectuados para panel PV/T DUALSUN los cuales se realizaron para obtener la sección de cable.

Tabla 9. Cálculo de sección DUALSUN.

Corriente máxima	10.08 A
Cálculo de caída de tensión	0.5%
Cálculo sección mínima de conductor S1'	1.58 mm ²
Protección Corriente Continua Panel1, Panel12 – Inversor IF	12.25 A
Corriente del inversor en corriente alterna	39.68 A
Cálculo de caída de tensión	0.9%
Cálculo sección mínima de conductores corriente alterna S2'	10.97 mm ²

En la Tabla 10 se observa el resultado de los cálculos realizados para el dimensionamiento de la sección de cable a utilizar, el cableado está expuesto al medio ambiente por lo que es necesario estar recubiertos por medio de tubería de PCV. Conjuntamente, compara los cálculos elaborados y las secciones comerciales. La norma internacional IEC60228, aconseja para cada sección, seleccionar la inmediata superior.

Tabla 10. Cálculo de secciones de conductores.

Tramo	Sección Calculada		Sección Comercial	Sección norteamericana AWG
Tramo 1	S1 = 1.51 mm ²	S1' = 1.58 mm ²	2.5 mm ²	14
Tramo 2	S2 = 10.97 mm ²	S2' = 10.97 mm ²	16 mm ²	6

2.6.1 CÁLCULO PROTECCIONES

Para el cálculo de fusibles en el sistema se aplicó la formula en base a la corriente soportada y la constante de protección, la cual va en un “rango de 1.5 a 2.5” (Castejón & Santamaría , 2010).

Protección Corriente Alterna Inversor F2:

$$I_F = FS * I_N \quad [23]$$

$$I_F = 1.5 \times 31.75 = 47.62 \text{ A}$$

Porcentaje de pérdidas en cableado:

$$\Delta U_{\%T} = \Delta U_{\%cc} + \Delta U_{\%ca} \quad [24]$$

$$\Delta U_{\%T} = 0.5\% + 0.9\%$$

$$\Delta U_{\%T} = 1.4\%$$

El cálculo de cableado se trata de minimizar las caídas de tensión, de este modo su sección será tal que “garantice una caída de tensión máxima de 1,5%” (Castejón & Santamaría , 2010). Además, en la Tabla 11 se observa el cálculo de intensidad para determinar las protecciones del sistema y de la misma manera escoger el valor de protecciones que existe en el mercado.

Tabla 11. Cálculo de protecciones.

Fusible	Intensidad calculada		Intensidad comercial
F1	F1=12.09 A	F1'=12.25 A	25 A
F2	47.62 A		63 A

2.7 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Al momento de realizar el cálculo de pérdidas del sistema, se debe tener en cuenta la radiación global horizontal diaria para determinar la radiación global anual en donde se realiza el sistema, El valor es 4,25 kWh/m²/día.

$$\text{Radiación global horizontal}_{\text{año}} = 4.25 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}} * 3655 \text{ días día} \quad [25]$$

$$\text{Radiación global horizontal}_{\text{año}} = 1551.25 \text{ kWh/m}^2$$

Pérdidas por orientación e inclinación:

Para calcular la inclinación optima de del panel se utiliza la siguiente ecuación (Castejón & Santamaría , 2010).

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * \beta \quad [26]$$

Donde:

β_{opt} : Inclinación óptima de la superficie

β : Inclinación real de la superficie

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * 15^\circ = 14.05^\circ$$

Factor de Inclinación:

Para determinar el factor de inclinación del panel se utiliza la siguiente fórmula (Castejón & Santamaría , 2010).

$$FI = 1 - \left[1.2 * 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 \right] \quad [27]$$

Donde:

FI: Factor de irradiación

β_{opt} : Inclinación óptima de la superficie

β : Inclinación real de la superficie

$$FI = 1 - \left[1.2 * 10^{-4} (15^\circ - 14.05^\circ)^2 \right] = 0.99$$

Radiación Global Inclinada:

$$Radiación\ global\ inclinada = 1551.25 \frac{kWh}{m^2} * 0.99 = 1535.74 \frac{kWh}{m^2} \quad [28]$$

Superficie total de los módulos:

$$Superficie\ total_{módulos} = número\ módulos * Superficie_{módulo} \quad [29]$$

$$Superficie\ total_{módulos} = 12 * 1.61\ m^2 = 19.31\ m^2$$

Radiación global en la superficie:

$$Radiación\ global\ superficie\ módulos = 1535.74 \frac{kWh}{m^2} * 19.31\ m^2 \quad [30]$$
$$= 29655.14\ kWh$$

Eficiencia no utilizada del módulo:

$$Eficiencia\ utilización\ módulo = 100\% - Eficiencia_{módulo} \quad [31]$$

$$Eficiencia\ utilización\ módulo = 100\% - 15.98\% = 84.02\%$$

$$Pérdida\ por\ eficiencia\ módulo = 29655.14\ kWh * 84.02\% \quad [32]$$
$$= 24916.25\ kWh$$

Energía útil para la vivienda:

$$Energía_{\text{útil}} = 29655.14 \text{ kWh} - 24916.25 \text{ kWh} = 4738.89 \text{ kWh} \quad [33]$$

Pérdidas por sombreado:

Las pérdidas por sombra en un sistema fotovoltaico, se determina mediante el diagrama de la trayectoria del sol como se muestra en la Figura 8, se estima mediante las coordenadas donde se realiza el sistema y usando los datos de posición (azimut) y ángulo de inclinación con respecto a la horizontal.

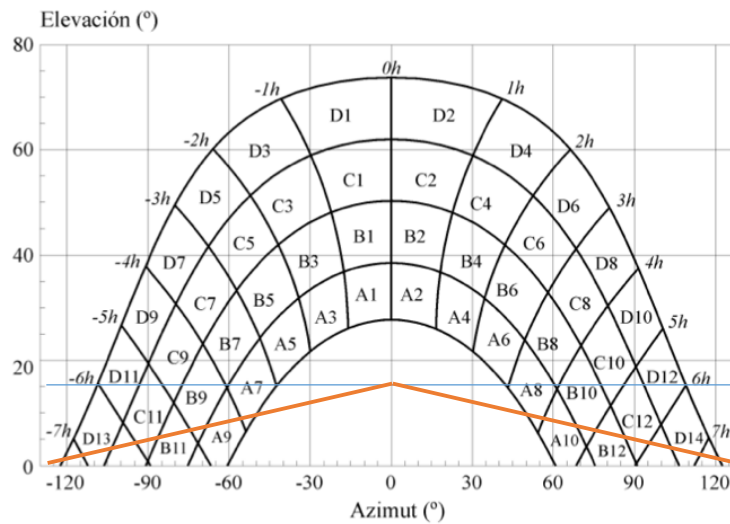


Figura 8. Diagrama de la trayectoria de sol.

(Catejon & Santamaria, 2010)

Se usa los datos de azimut 0° e inclinación 15° , se representa en la gráfica con el fin de observar las celdas por las q atraviesa los parámetros. Se utiliza los valores de ocupación que van desde: 0.25, 0.50, 0.75 y 1 que permite determinar el porcentaje de pérdida.

En la Figura 9 se presenta los valores para determinar el porcentaje total de la pérdida por sombreado.

$\beta = 35^\circ$ $\alpha = 0^\circ$	A	B	C	D
13	0,00	0,00	0,00	0,03
11	0,00	0,01	0,12	0,44
9	0,13	0,41	0,62	1,49
7	1,00	0,95	1,27	2,76
5	1,84	1,50	1,83	3,87
3	2,70	1,88	2,21	4,67
1	3,15	2,12	2,43	5,04
2	3,17	2,12	2,33	4,99
4	2,70	1,89	2,01	4,46
6	1,79	1,51	1,65	3,63
8	0,98	0,99	1,08	2,55
10	0,11	0,42	0,52	1,33
12	0,00	0,02	0,10	0,40
14	0,00	0,00	0,00	0,02

Figura 9. Valores de cálculo de pérdida.

(Castejón & Santamaría, 2010)

$$\begin{aligned} \text{Factor}_{\text{sombras}} = & D13 * 0.25 + C11 * 0.25 + B11 * 0.50 + A9 * 0.50 + B9 \\ & * 0.25 + A7 * 0.25 + A8 * 0.25 + A10 * 0.75 + B10 * 0.5 + B12 \\ & * 0.75 + C12 * 0.25 + D14 * 0.25 \end{aligned} \quad [34]$$

$$\begin{aligned} \text{Factor}_{\text{sombras}} = & 0.0075 + 0.03 + 0,005 + 0.065 + 0.10 + 0.25 + 0.245 \\ & + 0.0825 + 0.21 + 0.015 + 0.025 + 0.005 = 1.04\% \end{aligned}$$

$$\text{Pérdidas}_{\text{sombreado}} = 4738.89 \text{ kWh} * 1.04\% = 49.28 \text{ kWh} \quad [35]$$

Pérdidas en el inversor:

Las pérdidas en el inversor dependen de su rendimiento, pero sin lugar a duda esto se debe a la circulación de corriente que ocasiona caídas de tensión, y pérdidas por el efecto joule, debido a la resistencia de los dispositivos conectados al mismo. Al conocer que inversor posee una eficiencia máxima del 99% se utilizara 5% de pérdidas para realizar el cálculo.

$$\text{Pérdidas}_{\text{inversor}} = 4738.89 \text{ kWh} * 5\% = 236.94 \text{ kWh} \quad [36]$$

Pérdidas en el cableado:

La perdida por cableado se determinó en el apartado del cálculo de los tramos para la instalación eléctrica del sistema, es recomendable que no sea superior a 1.5%, para el presente estudio el porcentaje de perdidas es de 1.4% calculado en la sección de dimensionamiento de los conductores.

$$\text{Pérdidas}_{\text{cableado}} = 4738.89 \text{ kWh} * 1.4\% = 63.34 \text{ kWh} \quad [37]$$

El valor que se obtiene luego de realizar el cálculo de pérdidas por cableado, se obtiene la energía que produce el sistema fotovoltaico anualmente esta es de 3736.47 kWh. Adicionalmente se presenta en la Tabla 12 se resume los valores de pérdidas y, además el dato de consumo que necesita la vivienda, calculado anteriormente para el panel de marca ECOMESH. Con el fin de observar la energía necesaria que necesita el sistema.

Tabla 12. Cálculo de pérdidas fotovoltaicas ECOMESH.

Sistema solar Fotovoltaico	
Consumo de energía anual de la vivienda	3274.05 kWh
Pérdidas por sombreado	49.28 kWh
Pérdidas en el inversor	236.94 kWh
Pérdidas en el cableado	63.34 kWh
Consumo total de vivienda más pérdidas	3623.61 kWh
Energía anual calculada para demanda de vivienda	3736.47 kWh

los resultados de cálculo que se realizó con el panel PT/V DUALSUN, se muestran en la Tabla 13, es necesario indicar que la eficiencia de este panel es de 15.40%.

Tabla 13. Cálculo de pérdidas fotovoltaicas DUALSUN.

Sistema solar Fotovoltaico	
Consumo de energía anual de la vivienda	3274.05 kWh
Pérdidas por sombreado	45.03 kWh
Pérdidas en el inversor	216.52 kWh
Pérdidas en el cableado	60.63 kWh
Consumo total de vivienda más pérdidas	3596.23 kWh
Energía anual calculada para demanda de vivienda	3717.79 kWh

2.8 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA TÉRMICO DE ACS

El proceso de dimensionamiento del sistema térmico para obtener ACS en la vivienda, se enfatiza en la cantidad de agua, el sistema de captación y acumulación. Los miramientos en este proceso serán tomados, del borrador de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) capítulo 14, Energías renovables, correspondientemente, y del Documento Básico HE de ahorro de energía, este último permite complementar información sobre algún punto que no se pueda determinar en el capítulo 14.

Para realizar el cálculo térmico se realiza por el método f-Chart, el más utilizado y aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones (anuales).

2.8.1 CÁLCULO DEL CONSUMO DE ACS

Para conseguir el consumo de ACS, el primer paso es, determinar el número de habitantes en la vivienda. En este caso se tiene una vivienda de cinco personas. El consumo de ACS por persona al día es “45 L/día a 60 °C” (Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), 2014). En la Tabla 14 se indica el consumo total de la vivienda.

Tabla 14. Consumo de ACS.

Temperatura de uso(°C)	Consumo/pers ona(l/día)	Número de personas	Consumo total(l/día)	Consumo total (m3/día)
60	45	5	225	0.225

2.8.2 CÁLCULO DEL SALTO TÉRMICO

El salto térmico no es más que, la diferencia entre la temperatura de ACS 60 °C y la temperatura media de agua en la red este dato se recoge de la Empresa metropolitana de agua potable y saneamiento(EMAPS).

Tabla 15. Demanda energética mensual.

MES	Temperatura ACS (°C)	Temperatura media agua red (°C)	Salto Térmico (°C)
Enero	60	11.6	48.4
Febrero	60	11.9	48.1
Marzo	60	11.8	48.2
Abril	60	11.8	48.2
Mayo	60	11.9	48.1
Junio	60	12.1	47.9
Julio	60	11.8	48.2
Agosto	60	12.2	47.8
Septiembre	60	11.8	48.2
Octubre	60	11.6	48.4
Noviembre	60	11.5	48.5
Diciembre	60	11.5	48.5
		11.79	48.21

(EMAPS, 2014)

2.8.3 CÁLCULO DE ENERGÍA NECESARIA A CUBRIR EL SALTO TÉRMICO

El cálculo de la energía necesaria diaria, se determina por medio de consumo de agua diario, la densidad del agua, calor específico del agua y el salto térmico.

Ejemplo mes de enero entonces tenemos:

$$Q_{enero} = Consumo * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 4.186 \frac{J}{Kg} * Salto \text{ Térmico}_{enero} \quad [38]$$

$$Q_{enero} = 0.225 \frac{m^3}{día} * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 4.186 \frac{J}{Kg} °C * 48.4°C$$

$$= 0.046 \frac{MJ}{día}$$

En la tabla 16 se muestra el cálculo de la demanda energética diaria, mensual y el total para obtener la demanda anual.

Tabla 16. Energía para cubrir salto térmico.

MES	Demanda (m ³ /día)	Densidad del agua (kg /m ³)	Calor específico del agua (J/kg °C)	Salto Térmico (°C)	Demanda energética diaria (MJ /día)	Número días consumo (días/mes)	Demanda energética mensual (MJ /mes)	Demanda energética anual (MJ /año)
Enero	0.225	1000	4.186	48.4	0.046	31	1.41	16.57
Febrero	0.225	1000	4.186	48.1	0.045	28	1.27	
Marzo	0.225	1000	4.186	48.2	0.045	31	1.41	
Abril	0.225	1000	4.186	48.2	0.045	30	1.36	
Mayo	0.225	1000	4.186	48.1	0.045	31	1.40	
Junio	0.225	1000	4.186	47.9	0.045	30	1.35	
Julio	0.225	1000	4.186	48.2	0.045	31	1.41	
Agosto	0.225	1000	4.186	47.8	0.045	31	1.40	
Septiembre	0.225	1000	4.186	48.2	0.045	30	1.36	
Octubre	0.225	1000	4.186	48.4	0.046	31	1.41	
Noviembre	0.225	1000	4.186	48.5	0.046	30	1.37	
Diciembre	0.225	1000	4.186	48.5	0.046	31	1.42	

2.8.4 RADIACIÓN DIARIA MENSUAL EN SUPERFICIE HORIZONTAL

Para encontrar la radiación solar global inclinada, se recoge los valores que se determinó para determinar en el sistema fotovoltaico, ya que son los mismos valores de partida. En la Tabla 17 se muestra la radiación solar global diaria y se determina la radiación solar global mensual, para efectos de cálculo se transforma kWh/m²/día a MJ/m²/mes.

Tabla 17. Radiación solar global mensual.

MES	Radiación solar global diaria sobre la superficie inclinada(kWh/m ² /día)	Número días consumo (días/mes)	Radiación Solar global mensual inclinada (kWh/m ² mes)	Radiación Solar global mensual inclinada (MJ/m ² /mes)
Enero	4.31	31	133.61	481.00
Febrero	4.38	28	122.64	441.50
Marzo	4.41	31	136.71	492.16
Abril	3.98	30	119.4	429.84
Mayo	3.63	31	112.53	405.11
Junio	3.50	30	105	378.00
Julio	3.76	31	116.56	419.62
Agosto	4.10	31	127.1	457.56
Septiembre	4.14	30	124.2	447.12
Octubre	4.32	31	133.92	482.11
Noviembre	4.52	30	135.6	488.16
Diciembre	4.18	31	129.58	466.49
				5388.66

2.8.5 INTENSIDAD ÚTIL DÍA

La intensidad útil permite determinar la cantidad de energía que llegará al colector solar en un determinado tiempo, con el fin de lograr hallar la superficie de captación en el sistema térmico. En el Ecuador por la posición geográfica se tiene “12 horas de día y 12 de noche” (INAMHI, 2013). Ahora es necesario diferenciar la cantidad de horas sol, en la Tabla 18 se observa las horas sol al mes. Para el cálculo del sistema se determinó una media anual diaria para ser utilizada en el dimensionamiento, además, se muestra la temperatura ambiente del lugar de estudio, que permite realizar el cálculo del aporte solar.

Tabla 18. Datos de heliofanía en Ecuador.

MES	Heliofanía (Horas)	Número días consumo (días/horas)	Horas de sol	Temperatura ambiente (°C)
Enero	183.5	31	5.92	17.5
Febrero	124.1	28	4.43	17.6
Marzo	148.8	31	4.80	18.0
Abril	124.1	30	4.14	17.9
Mayo	148.8	31	4.80	17.8
Junio	121.5	30	4.05	17.3
Julio	183.3	31	5.91	17.5
Agosto	140.8	31	4.54	18.6
Septiembre	148	30	4.93	19.3
Octubre	155.2	31	5.01	19.3
Noviembre	127.6	30	4.25	18.3
Diciembre	127.3	31	4.11	17.6
	144.42		4.74	18.06

Para efectos de cálculo se aproxima el número de horas al inmediato superior, en este caso particular 5 horas, para efectos de cálculo se transforma a segundos. Con ese valor se utiliza para determinar la intensidad útil.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

Tabla 19. Intensidad útil día ECOMESH.

Radiación Solar diaria inclinada (MJ/m ²)	Radiación Solar diaria inclinada (Ws/m ²)	Tiempo útil de sol en (s)	Intensidad útil día (W/m ²)
15.52	15516000	18000	862.00
15.77	15768000	18000	876.00
15.88	15876000	18000	882.00
14.33	14328000	18000	796.00
13.07	13068000	18000	726.00
12.60	12600000	18000	700.00
13.54	13536000	18000	752.00
14.76	14760000	18000	820.00
14.90	14904000	18000	828.00
15.55	15552000	18000	864.00
16.27	16272000	18000	904.00
15.05	15048000	18000	836.00
			9846.00

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

Tabla 20. Intensidad útil día DUALSUN.

Radiación Solar diaria inclinada (MJ/m ²)	Radiación Solar diaria inclinada (Ws/m ²)	Tiempo útil de sol en (s)	Intensidad útil día (W/m ²)
15.52	15516000	7200	2155.00
15.77	15768000	7200	2190.00
15.88	15876000	7200	2205.00
14.33	14328000	7200	1990.00
13.07	13068000	7200	1815.00
12.60	12600000	7200	1750.00
13.54	13536000	7200	1880.00
14.76	14760000	7200	2050.00
14.90	14904000	7200	2070.00
15.55	15552000	7200	2160.00
16.27	16272000	7200	2260.00
15.05	15048000	7200	2090.00
			24615.00

2.8.6 CÁLCULO DEL APORTE SOLAR

La contribución solar de la instalación, simboliza la etapa en la que se recopila toda la información calculada anteriormente. Es necesario conocer el rendimiento de los colectores solares, dato que provee el fabricante. Así, se adquiere el aporte de los colectores con respecto al mes.

Con esto se establecerá el número de colectores necesarios para lograr el aporte solar deseado. Para continuar el proceso de cálculo es necesario

indicar la temperatura ambiente que existe en el lugar de estudio, dato que se presentó en la Tabla 17 son los valores de temperatura en cada mes del año.

2.8.6.1 CARACTERÍSTICAS DE COLECTORES SOLARES

La implementación del Sistema Solar Térmico depende bastante de las características de los colectores solares, con estos datos se determina el rendimiento que tendrá con respecto a los meses de utilización. En la Tabla 21 se presentan las características térmicas de los dos colectores con los que se realiza el estudio.

Tabla 21. Características térmicas.

ECOMESH		DUALSUN	
Rendimiento óptico $\eta\phi$ (%)	51	Rendimiento óptico $\eta\phi$ (%)	55
Coef. Pérdidas térmicas a1 ($W/^\circ k m2$)	4.93	Coef. Pérdidas térmicas a1 ($W/^\circ k m2$)	15.76
Coef. Pérdidas térmicas a2 ($W/^\circ k2 m2$)	0.02 1	Coef. Pérdidas térmicas a2 ($W/^\circ k2 m2$)	0.00

2.8.6.2 RENDIMIENTO INSTANTÁNEO

El rendimiento instantáneo del colector solar concierne al flujo de energía en forma de calor transmitido al agua. Este parámetro resulta de las condiciones de irradiación y la temperatura media que circula en el colector.

Para determinar el rendimiento instantáneo del colector se presenta la siguiente formula.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

Para el parámetro x:

Para definir el parámetro x es necesario utilizar la siguiente expresión (Duffie & Beckman, 2013).

$$X_{enero} = \frac{Temp_{ACS} - Temp_{amb}}{I_{útil}} \quad [39]$$

Donde:

X: Parámetro x
 $Temp_{ACS}$: Temperatura a calentar el sistema
 $Temp_{amb}$: Temperatura ambiente
 $I_{útil}$: Intensidad útil

$$X_{\text{enero}} = \frac{60\text{ }^{\circ}\text{C} - 17.5\text{ }^{\circ}\text{C}}{2155\text{ W/m}^2} = 0.05 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C m}^2}{\text{W}}$$

Para el parámetro x^2 :

Para encontrar el parámetro x^2 se utiliza la siguiente ecuación (Duffie & Beckman, 2013).

$$X_{\text{enero}}^2 = \left(0.05 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C m}^2}{\text{W}}\right)^2 = 0.002 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}^2 \text{ m}^2}{\text{W}^2} \quad [40]$$

Rendimiento del colector:

Al definir el rendimiento del colector se utiliza la siguiente ecuación (Duffie & Beckman, 2013).

$$\eta = \eta_0 - a_1 * X - a_2 * X^2 \quad [41]$$

Donde:

η : Rendimiento del colector

η_0 : Rendimiento óptimo

a_1 : Coeficiente de pérdidas térmicas

a_2 : Coeficiente de pérdidas térmicas

$$\begin{aligned} \eta_{\text{enero}} &= 0.51 - 4.93 \text{ W/K m}^2 * 0.05 \text{ }^{\circ}\text{C m}^2/\text{W} - 0.021 \text{ W/K}^2 \text{ m}^2 * 0.002 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}^2 \text{ m}^2}{\text{W}^2} \\ &= 0.27 \end{aligned}$$

En la Tabla 22 se muestra el cálculo de los parámetros X y el rendimiento en cada mes.

Tabla 22. Rendimiento del colector ECOMESH.

MES	Parámetro X (°C m ² W)	Parámetro x2 (°C m ² W) ²	Rendimiento η _o (%)	Coef. pérdidas térmicas a1 (W ^o C m ²)	Coef. pérdidas térmicas a2 (W ^o C m ²) ²	Rendimiento mensual colector η _i (%)
Enero	0.05	0.002	0.51	4.93	0.021	26.69
Febrero	0.05	0.002	0.51	4.93	0.021	27.13
Marzo	0.05	0.002	0.51	4.93	0.021	27.52
Abril	0.05	0.003	0.51	4.93	0.021	24.92
Mayo	0.06	0.003	0.51	4.93	0.021	22.34
Junio	0.06	0.004	0.51	4.93	0.021	20.92
Julio	0.06	0.003	0.51	4.93	0.021	23.13
Agosto	0.05	0.003	0.51	4.93	0.021	26.10
Septiembre	0.05	0.002	0.51	4.93	0.021	26.76
Octubre	0.05	0.002	0.51	4.93	0.021	27.77
Noviembre	0.05	0.002	0.51	4.93	0.021	28.25
Diciembre	0.05	0.003	0.51	4.93	0.021	25.99
						25.63

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

En la Tabla 23 se muestra el cálculo de los parámetros X y el rendimiento en cada mes, de la segunda propuesta de colector solar térmico.

Tabla 23. Rendimiento del colector DUALSUN.

MES	Parámetro X (°C m ² W)	Parámetro x2 (°C m ² W) ²	Rendimiento η _o (%)	Coef. pérdidas térmicas a1 (W ^o C m ²)	Coef. pérdidas térmicas a2 (W ^o C m ²) ²	Rendimiento mensual colector η _i (%)
Enero	0.02	0.000	0.55	15.76	0.000	23.92
Febrero	0.02	0.000	0.55	15.76	0.000	24.49
Marzo	0.02	0.000	0.55	15.76	0.000	24.98
Abril	0.02	0.000	0.55	15.76	0.000	21.66
Mayo	0.02	0.001	0.55	15.76	0.000	18.36
Junio	0.02	0.001	0.55	15.76	0.000	16.55
Julio	0.02	0.001	0.55	15.76	0.000	19.37
Agosto	0.02	0.000	0.55	15.76	0.000	23.17
Septiembre	0.02	0.000	0.55	15.76	0.000	24.01
Octubre	0.02	0.000	0.55	15.76	0.000	25.30
Noviembre	0.02	0.000	0.55	15.76	0.000	25.92
Diciembre	0.02	0.000	0.55	15.76	0.000	23.03
						22.56

2.8.7 APOORTE SOLAR

Constituye la cantidad energía, en este caso MJ por m² que contribuye el sol para calentar el fluido que circula por el sistema solar térmico.

Para definir el aporte solar se utiliza siguiente expresión:

$$AS_{enero} = \text{Radiación solar diaria inclinada} * \eta_{enero} \quad [42]$$

$$AS_{\text{enero}} = 15.52 \text{ MJ/m}^2 * 0.27 = 4.14 \text{ MJ/m}^2$$

En la Tabla 24 se indica el cálculo de aporte solar de los respectivos meses del año.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

Tabla 24. Aporte solar ECOMESH.

MES	Radiación Solar diaria inclinada (MJ/m ²)	Rendimiento mensual colector η (%)	Aporte solar diario (MJ/m ²)
Enero	15.52	0.27	4.14
Febrero	15.77	0.27	4.28
Marzo	15.88	0.28	4.37
Abril	14.33	0.25	3.57
Mayo	13.07	0.22	2.92
Junio	12.60	0.21	2.64
Julio	13.54	0.23	3.13
Agosto	14.76	0.26	3.85
Septiembre	14.90	0.27	3.99
Octubre	15.55	0.28	4.32
Noviembre	16.27	0.28	4.60
Diciembre	15.05	0.26	3.91

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

En la Tabla 25 de igual manera se presenta el cálculo de aporte solar de los meses del año.

Tabla 25. Aporte solar DUALSUN.

MES	Radiación Solar diaria inclinada (MJ/m ²)	Rendimiento mensual colector η (%)	Aporte solar diario (MJ/m ²)
Enero	15.52	0.24	3.71
Febrero	15.77	0.24	3.86
Marzo	15.88	0.25	3.97
Abril	14.33	0.22	3.10
Mayo	13.07	0.18	2.40
Junio	12.60	0.17	2.08
Julio	13.54	0.19	2.62
Agosto	14.76	0.23	3.42
Septiembre	14.90	0.24	3.58
Octubre	15.55	0.25	3.94
Noviembre	16.27	0.26	4.22
Diciembre	15.05	0.23	3.47

2.8.8 ENERGÍA NETA REAL DISPONIBLE DIARIA

Se refiere a la energía diaria que contribuyen los colectores, esto no quiere decir que sea la que disponga el sistema para su uso, ya que en los elementos de la instalación se producen pérdidas, esencialmente en el acumulador.

A falta de datos exactos para mencionado cálculo, se suele estimar en un 30 o 25%, para el sistema se estimará pérdidas en 25% por lo tanto en la Tabla 26 se muestra la energía real además la energía mensual disponible.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

Tabla 26. Energía neta real diaria y mensual ECOMESH.

MES	Radiación Solar diaria inclinada (MJ/m ²)	Rendimiento mensual colector η (%)	Aporte solar diario (MJ/m ²)	Energía neta (MJ/m ²)	Número días consumo (días/mes)	Energía unitaria disponible mensual (MJ/m ² /año)
Enero	15.52	0.27	4.14	3.11	31	96.28
Febrero	15.77	0.27	4.28	3.21	28	89.84
Marzo	15.88	0.28	4.37	3.28	31	101.58
Abril	14.33	0.25	3.57	2.68	30	80.34
Mayo	13.07	0.22	2.92	2.19	31	67.87
Junio	12.60	0.21	2.64	1.98	30	59.31
Julio	13.54	0.23	3.13	2.35	31	72.80
Agosto	14.76	0.26	3.85	2.89	31	89.58
Septiembre	14.90	0.27	3.99	2.99	30	89.74
Octubre	15.55	0.28	4.32	3.24	31	100.42
Noviembre	16.27	0.28	4.60	3.45	30	103.44
Diciembre	15.05	0.26	3.91	2.93	31	90.93
						1042.12

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

Tabla 27. Energía neta real diaria y mensual DUALSUN.

MES	Radiación Solar diaria inclinada (MJ/m ²)	Rendimiento mensual colector η (%)	Aporte solar diario (MJ/m ²)	Energía neta (MJ/m ²)	Número días consumo (días/mes)	Energía unitaria disponible mensual (MJ/m ² /año)
Enero	15.52	0.24	3.71	2.78	31	86.29
Febrero	15.77	0.24	3.86	2.90	28	81.08
Marzo	15.88	0.25	3.97	2.97	31	92.21
Abril	14.33	0.22	3.10	2.33	30	69.82
Mayo	13.07	0.18	2.40	1.80	31	55.77
Junio	12.60	0.17	2.08	1.56	30	46.91
Julio	13.54	0.19	2.62	1.97	31	60.97
Agosto	14.76	0.23	3.42	2.57	31	79.52
Septiembre	14.90	0.24	3.58	2.68	30	80.53
Octubre	15.55	0.25	3.94	2.95	31	91.50
Noviembre	16.27	0.26	4.22	3.16	30	94.90
Diciembre	15.05	0.23	3.47	2.60	31	80.57
						920.06

2.9 CONTRIBUCIÓN SOLAR MÍNIMA

La contribución solar mínima en el Ecuador se determina por medio de un mapa solar elaborado por el CONELEC en el año 2008. Con el fin de determinar estas zonas, se clasifican de la I a V, “en el caso particular del lugar de estudio pertenece a la zona IV” (Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), 2014). Al conocer la zona de estudio, también se determina la fracción solar anual. Esta se logra de acuerdo a criterios tanto técnicos como económicos, “para uso residencial se recomienda que sea mínimo de 60%” (Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), 2014). Este valor se utiliza en porcentaje.

En la siguiente expresión se muestra la contribución mínima en la zona de estudio:

$$\text{Contribución solar mínima} = \text{Demanda energética anual} * 60\% \quad [43]$$

$$\text{Contribución solar mínima} = 16.57 \text{ MJ/año} * 60\% = 9.94 \text{ MJ/año}$$

Cálculo de Superficie de Captación:

Se determina entre el valor de la demanda energética anual y la energía disponible anual.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

$$S_c = \frac{9.94 \text{ MJ/año}}{1042.12 \text{ MJ/m}^2\text{año}} = 9.54 \text{ m}^2 \quad [44]$$

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

$$S_c = \frac{9.94 \text{ MJ/año}}{920.06 \text{ MJ/m}^2\text{año}} = 10.81 \text{ m}^2 \quad [45]$$

Cálculo de Número de paneles:

Al encontrar cuantos colectores necesita el sistema térmico, se realiza la división entre la superficie de captación y el área del colector.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

$$Número_{paneles} = \frac{9.54 \text{ m}^2}{1.61 \text{ m}^2} = 5.93 \approx 6 \quad [46]$$

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

$$Número_{paneles} = \frac{10.81 \text{ m}^2}{1.66 \text{ m}^2} = 6.52 \approx 7 \quad [47]$$

Al conocer el número colectores que necesita el sistema solar térmico, se realiza una comparación con un colector solar netamente térmico de tipo Heat Pipe, modelo TZ47 1500 20 C. En todo el estudio se utiliza paneles solares termo fotovoltaicos PV/T, esto con el fin de determinar la deferencia de rendimiento que tienen los panales PV/T, en la Tabla 28 se presenta los resultados generales del dimensionamiento realizado con el colector térmico, se presenta cálculos de forma más detallada en el Anexo 1.

Tabla 28. Energía neta real diaria y mensual Heat Pipe, modelo TZ47 1500.

MES	Intensidad útil día (W/m ²)	Rendimiento mensual colector η (%)	Energía unitaria disponible mensual (MJ/m ² año)	Superficie captación m ²	Número de paneles
Enero	862.00	71.97	259.61	3.44	2.00
Febrero	876.00	72.17	238.97		
Marzo	882.00	72.34	267.03		
Abril	796.00	71.16	229.42		
Mayo	726.00	69.99	212.65		
Junio	700.00	69.35	196.60		
Julio	752.00	70.35	221.40		
Agosto	820.00	71.70	246.06		
Septiembre	828.00	72.00	241.44		
Octubre	864.00	72.46	262.00		
Noviembre	904.00	72.68	266.08		
Diciembre	836.00	71.65	250.68		
	9846.00	71.48	2891.94		

2.9.1 SISTEMA DE ACUMULACIÓN

Para calcular el acumulador más apropiado para la demanda que se necesita suplir, se utiliza la siguiente expresión con el fin de encontrar un valor intermedio si este fuere el caso para determinar acumuladores existentes en el mercado. Se conoce que él consumo de la vivienda $225 \frac{L}{día}$.

$$0.8 * Vol. Consumo$$

[49]

$$0.8 * 225 \frac{L}{día} = 180 \frac{L}{día}$$

$$1.2 * Vol. Consumo$$

$$1.2 * 225 \frac{L}{día} = 270 \frac{L}{día}$$

Como se observa el volumen de acumulación está en un rango de 180 a $270 \frac{L}{día}$, en la Tabla 29 se enlista algunos de sus principales datos técnicos del modelo de acumulador seleccionado para el volumen a suplir en la instalación.

Tabla 29. Principales datos técnicos Acumulador.

Modelo del Acumulador	Saunier Duval, BDLE 300
Capacidad (litros)	300
Diámetro (mm)	620
Material	Acero Vitrificado

Caudal del Circuito Primario:

Se determina enlistando los aparatos que se encuentra en la vivienda, en la Tabla 30 se indica caudales mínimos de los aparatos comunes en una vivienda.

Tabla 30. Caudales instantáneos mínimos para cada aparato.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de ACS (dm ³ /s)
Lavamanos	0.03
Lavabo	0.065
Ducha	0.10
Bañera de 1,40 o más	0.20
Bañera de menos de 1,40 m	0.15
Bidé	0.065
Inodoro con cisterna	-
Fregadero	0.10
Lavavajillas domestico	0.10
Lavadero	0.10
Lavadora domestica	0.15
Grifo aislado	0.10
Grifo garaje	-

(DB-HS Sección HS4, 2006)

Caudal Total del Sistema:

El caudal total se logra detallando el número de aparatos en la vivienda totales, como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Cálculo del caudal total.

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de ACS (L/s)	Número de aparatos	Caudal Total Q (L/s)
Lavamanos	0.03	3	0.09
Lavabo	0.065	1	0.065
Ducha	0.10	2	0.2
TOTAL			0.36

Coefficiente de simultaneidad:

El valor calculado anteriormente es necesario determinar un factor de simultaneidad, no es más que usar el número de aparatos de la vivienda para obtener el coeficiente que multiplica el caudal que se obtuvo (Duffie & Beckman, 2013).

$$K = \frac{1}{\sqrt{n - 1}} \quad [50]$$
$$K = \frac{1}{\sqrt{6 - 1}} = 0.45$$

Caudal simultaneo:

El cálculo de caudal simultaneo se determina multiplicando por el coeficiente de simultaneidad (Duffie & Beckman, 2013).

$$Q_{sim} = Q * K \quad [51]$$
$$Q_{sim} = 0.36 \text{ l/s} * 0.45 = 0.16 \text{ L/s}$$

Cálculo del diámetro de la tubería:

Como primer paso se elige una velocidad para el cálculo, esta comprende entre los siguientes valores:

Tabla 32. Rango de velocidad para material de tuberías.

0.5 a 2 m/s Para tuberías metálicas
0.5 a 3.5 m/s Para tuberías no metálicas

(DB-HS Sección HS4, 2006)

Se toma el dato de velocidad para tuberías no metálicas el mayor de $3.5 \frac{m}{s}$ (Duffie & Beckman, 2013).

$$D = \sqrt{\frac{4000 * Q}{\pi * V}} \quad [52]$$

Donde:

D = Diámetro en mm

Q = Caudal en L/s

V = Velocidad del agua m/s

$$D = \sqrt{\frac{4000 * 0.16 \frac{L}{s}}{\pi * 3.5 \frac{m}{s}}} = 7.63 \text{ mm}$$

Al obtener el resultado del cálculo anterior se selecciona la tubería con el diámetro comercial y además respetando la normativa Suministro de agua en edificios de viviendas DB HS - Sección HS4 de la Tabla 33, que se ilustra a continuación:

Tabla 33. Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos.

Diámetro nominal del ramal de enlace		
Aparato o punto de consumo	Tubo de acero (")	Tubo de cobre o plástico (mm)
Lavamanos	1/2	12
Lavabo, bidé	1/2	12
Ducha	1/2	12
Bañera <1,40 m	3/4	20
Bañera >1,40 m	3/4	20
Inodoro con cisterna	1/2	12
Fregadero doméstico	1/2	12
Lavavajillas doméstico	1/2 (rosca a 3/4)	12
Lavadora doméstica	3/4	20
Vertedero	3/4	20

(DB-HS Sección HS4, 2006)

Se selecciona el diámetro comercial y el recomendado en la norma de 12mm o 1/2". En la Figura 10 se observa cómo se presenta la tubería y la conexión de los paneles en paralelo. Cabe mencionar que el dimensionamiento determinó el número de paneles sea de seis y siete para los dos paneles PV/T respectivamente, al tener en cuenta que los paneles sobrantes calculados en el sistema fotovoltaico se conectan en paralelo con el fin de obtener suficiente

recurso hídrico con el objetivo de usar en más actividades de la vivienda. Esto también beneficia al conocer que el acumulador es de 300 litros lo que permite acumular el agua caliente restante.

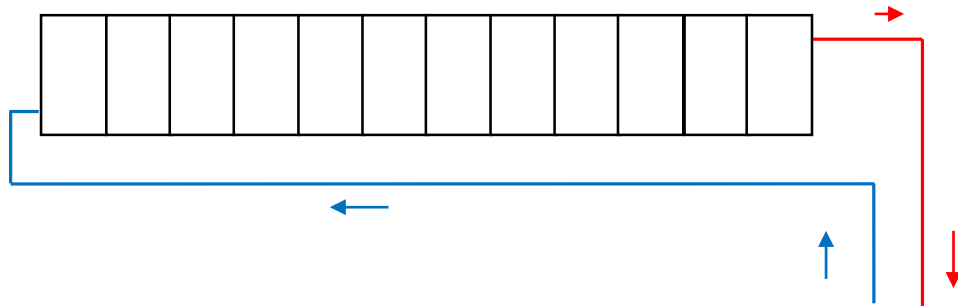


Figura 10. Tramos de instalación ACS y conexión paralelo de paneles PV/T.

2.9.2 VÁLVULA DE CORTE

Se instala en varios lugares de la instalación, con el fin de poder realizar operaciones de mantenimiento, sin necesidad de efectuar el vaciado de ACS de la instalación.

2.9.3 CÁLCULO DE BOMBA DE CIRCULACIÓN

El cálculo de la bomba que necesita el sistema térmico, permite determinar de mejor manera la disposición de las mismas sin necesidad de sobre instalar. Este cálculo es en función del caudal que circula en el mismo.

En primer lugar, se tiene en cuenta que el caudal es 0.16 L/s . Esto es con el fin de hacer llegar el ACS a los diferentes aparatos en la casa. Además, la vivienda consiste de tres plantas donde se distribuyen los aparatos de ACS, En la Figura 11 se muestra como se constituye.

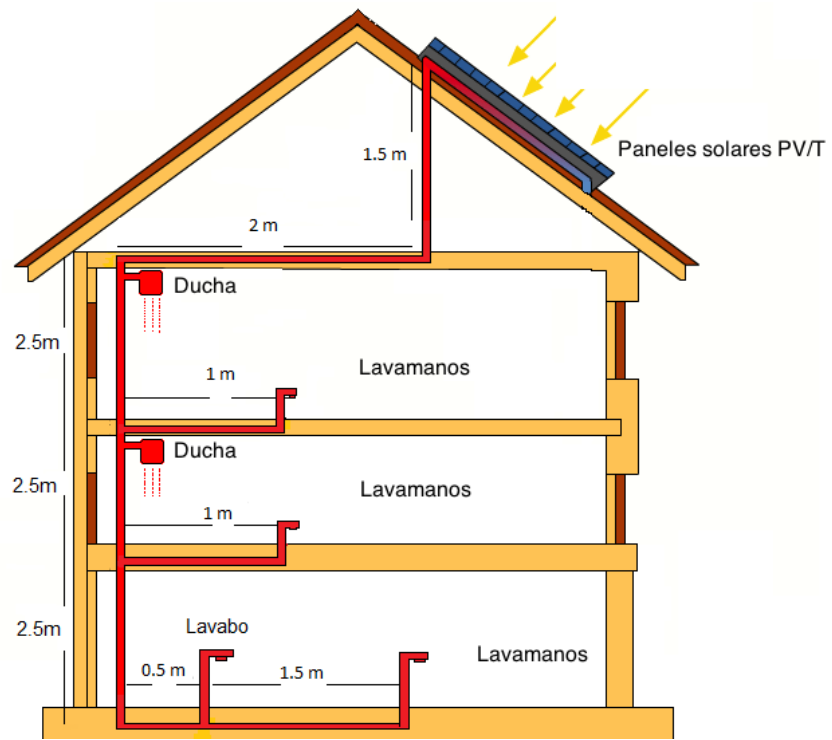


Figura 11. Esquema del sistema térmico de ACS.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANALISIS DE RESULTADOS Y SIMULACIÓN

Una vez realizados todos los cálculos de dimensionamiento fotovoltaico y sistema de generación solar térmica de ACS, es imperioso realizar la simulación de los dos sistemas, con el fin de comparar los resultados calculados. Para esto se utilizó softwares simuladores PV-Sol para el sistema fotovoltaico y T-Sol para el sistema térmico respectivamente. El análisis de los resultados se comparará con los datos obtenidos del dimensionamiento y de la simulación de proyecto por medio de software.

3.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

En el presente apartado se indica el proceso de simulación para el sistema fotovoltaico con el fin de indicar los datos arrojados por el simulador PV-sol y realizar una comparación con los cálculos realizados a lo largo de estudio.

De esta manera como resultado de los cálculos obtenidos por medio de la metodología de investigación, en la Tabla 35 se muestra los cálculos realizados con los paneles que se ha utilizado a lo largo del estudio.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

Tabla 34. Cálculos del sistema ECOMESH.

Sistema solar Fotovoltaico	
Radiación global horizontal anual	1551.25 kWh/m ²
Energía anual para demanda de vivienda	3736.47 kWh
Sistema solar Térmico	
Rendimiento del sistema	25.63%

En la Tabla 36 de igual forma se muestra los resultados del panel DUALSUN.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

Tabla 35. Cálculos del sistema DUALSUN.

Sistema solar Fotovoltaico	
Radiación global horizontal anual	1551.25 kWh/m ²
Energía anual para demanda de vivienda	3717.79 kWh
Sistema solar Térmico	
Rendimiento del sistema	22.56%

Es necesario mencionar que el programa de simulación, usa actualización por internet esto permite ubicar las coordenadas donde se realiza el estudio para obtener los valores de radiación en el sitio exacto.

Una ventaja que brinda el software PV-sol, es la posibilidad de mostrar cómo se observa los paneles ya implementados. Es así que en la Figura 14 se

observa el lugar de estudio y como se muestran los paneles en el techo de la vivienda.

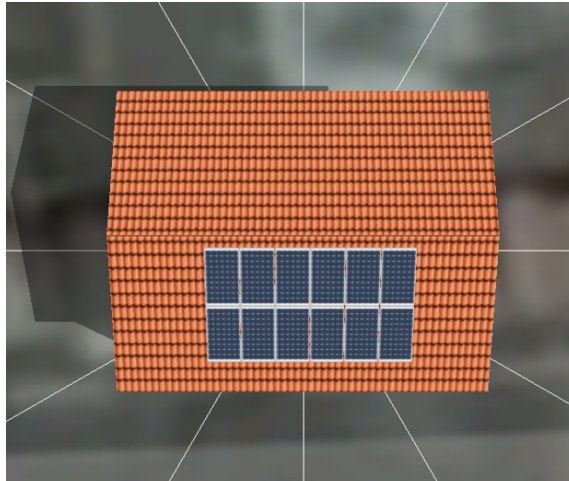


Figura 12. Panorámica del lugar de estudio.
(Valentin Software, 2017)

Los resultados que se obtuvo en el diseño del proyecto usando la metodología de investigación, se los valora en el software PV sol, con el fin de mostrar la cercanía de valores entre lo simulado y lo calculado. En el software se dispuso los mismos parámetros que se utilizó en el cálculo con el fin de no alterar los resultados de la simulación. De acuerdo a esto en la parte fotovoltaica el programa permite ingresar los elementos que utiliza el sistema, en este caso se refiere principalmente a los paneles PV/T, el inversor. En Figura 15 y 16 se muestra una tabla de comparación de rendimiento mensual del sistema fotovoltaico simulado.

De la misma manera se presenta para los dos paneles de estudio.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

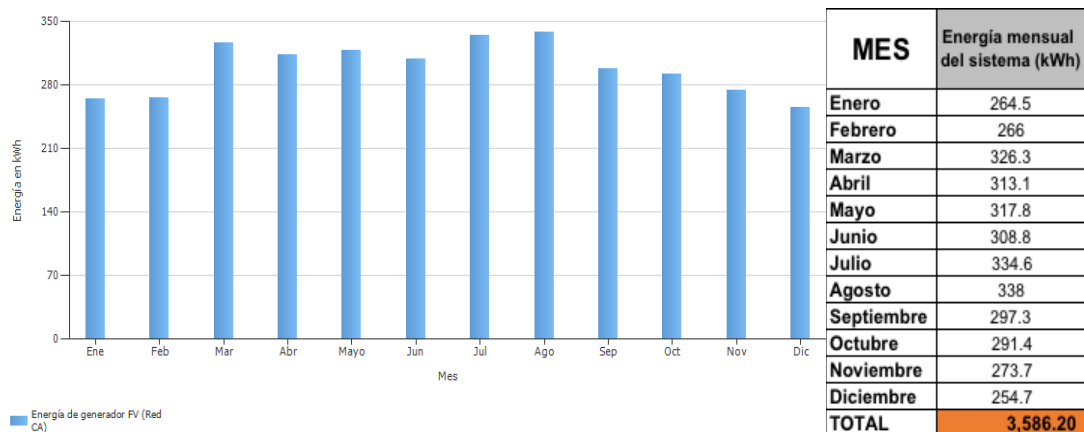


Figura 13. Rendimiento mensual del sistema ECOMESH.
(Valentin Software, 2017)

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

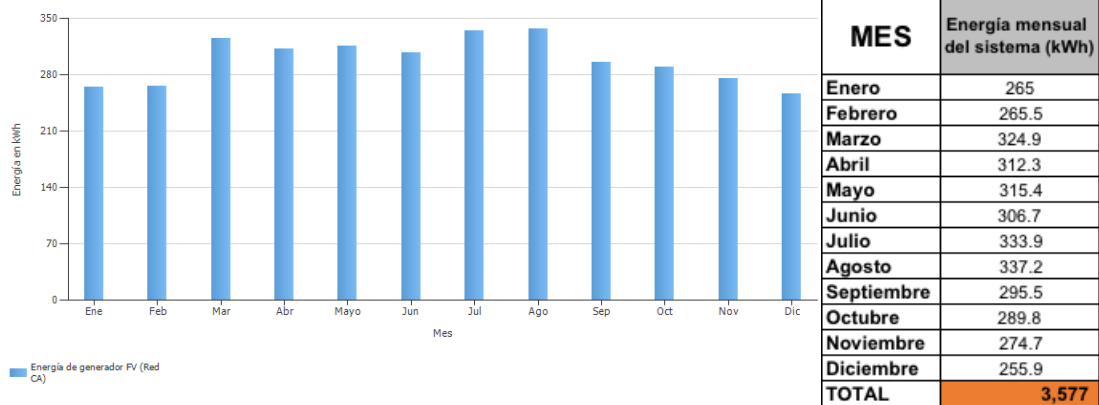


Figura 14. Rendimiento mensual del sistema DUALSUN. (Valentin Software, 2017)

Es indispensable observar el resultado de lo calculado y lo simulado, es por eso que en la Figura 17 y 18 se muestra una comparación de los dos resultados.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

Rendimiento mensual cálculo y simulación ECOMESH.

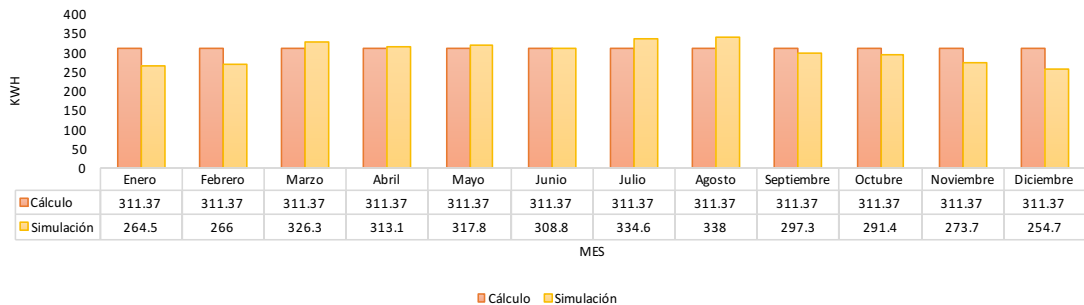


Figura 15. Rendimiento mensual cálculo y simulación ECOMESH.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

Rendimiento mensual cálculo y simulación DUALSUN.

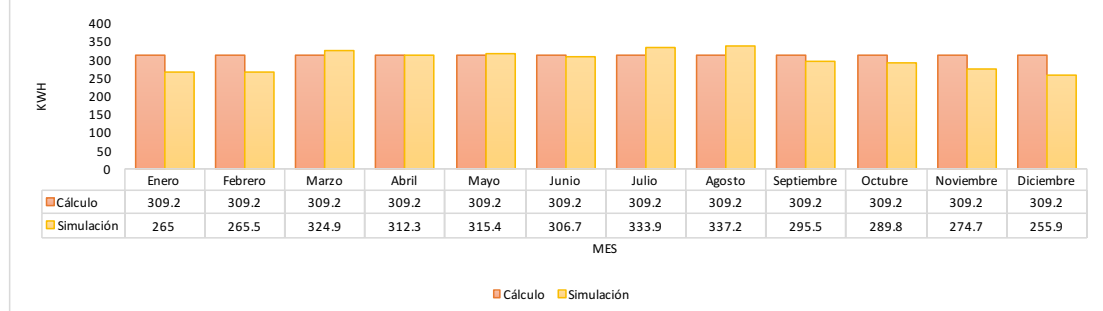


Figura 16. Rendimiento mensual cálculo y simulación DUALSUN.

Al conocer el rendimiento mensual de sistema fotovoltaico, de cada uno de los paneles en la Tabla 37 y 38 se muestra una comparación de los cálculos y la simulación, además un porcentaje de error en los dos valores que se obtuvo.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

Tabla 36. Porcentaje de error de energía mensual calculada y simulada ECOMESH.

MES	Energía mensual del sistema CALCULADO (kWh)	Energía mensual del sistema SIMULADO (kWh)	Porcentaje de ERROR (%)
Enero	311.37	264.5	17.7
Febrero	311.37	266	17.1
Marzo	311.37	326.3	-4.6
Abril	311.37	313.1	-0.6
Mayo	311.37	317.8	-2.0
Junio	311.37	308.8	0.8
Julio	311.37	334.6	-6.9
Agosto	311.37	338	-7.9
Septiembre	311.37	297.3	4.7
Octubre	311.37	291.4	6.9
Noviembre	311.37	273.7	13.8
Diciembre	311.37	254.7	22.2
TOTAL	3,736.44	3,586.20	4.2

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

Tabla 37. Porcentaje de error de energía mensual calculada y simulada DUALSUN.

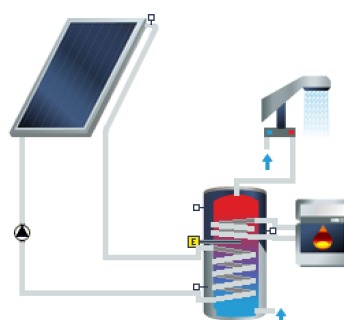
MES	Energía mensual del sistema CALCULADO (kWh)	Energía mensual del sistema SIMULADO (kWh)	Porcentaje de ERROR (%)
Enero	309.815	265	16.9
Febrero	309.815	265.5	16.7
Marzo	309.815	324.9	-4.6
Abril	309.815	312.3	-0.8
Mayo	309.815	315.4	-1.8
Junio	309.815	306.7	1.0
Julio	309.815	333.9	-7.2
Agosto	309.815	337.2	-8.1
Septiembre	309.815	295.5	4.8
Octubre	309.815	289.8	6.9
Noviembre	309.815	274.7	12.8
Diciembre	309.815	255.9	21.1
TOTAL	3,717.78	3,576.80	3.9

Al comparar los valores del cálculo de la energía mensual del sistema fotovoltaico con los valores del simulador, se observa un error porcentual anual del 4.2% con el panel ECOMESH y 3.9% con el panel DUALSUN. Es necesario mencionar que en el dimensionamiento se utilizó el mes de menor radiación como valor constante para el cálculo para los dos tipos de paneles

solares, a diferencia que el software realiza el dimensionamiento respecto a los niveles de radiación de cada mes del año. Las desviaciones encontradas permiten aseverar que el proceso de análisis desarrollado fue exitoso, ya que arrojó valores dentro de parámetros y tolerancias aceptables.

3.3 SISTEMA TÉRMICO

Para mostrar el proceso de comparación del sistema térmico, es necesario mencionar el software que permitió comparar los cálculos realizados. Es así que se usó el software T-sol el mismo que visualiza una imagen que permite tener una idea gráfica de cómo está comprendido el sistema, en la Figura 19 se muestra el sistema.



A1 - Instalación ACS
Instalacion ACS

Figura 17. Sistema solar térmico.

(Valentin Software, 2017)

Una vez realizada la comparación del sistema solar fotovoltaico, se realiza de la misma manera para el sistema solar térmico. Es así que en la Tabla 39,40 y la Figura 22,23 se indica el rendimiento que a su vez es comparado con la simulación realizada.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

Tabla 38. Cálculo del sistema térmico ECOMESH.

Sistema solar Térmico	
Rendimiento del sistema	25.63%
Superficie Captación	9.54 m ²
Número de paneles	5.93

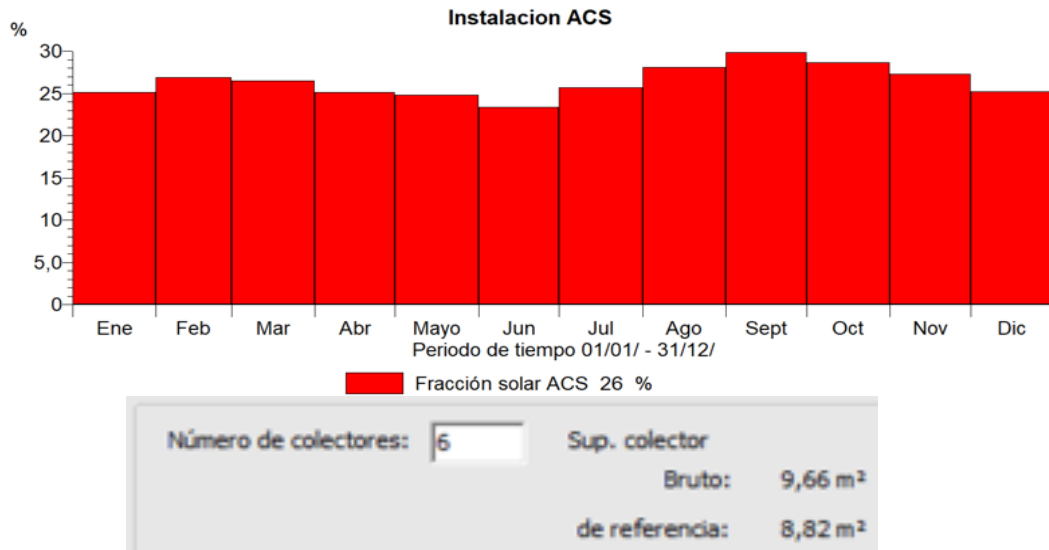


Figura 18. Rendimiento del sistema, superficie de colector bruto y número de paneles (Valentin Software, 2017)

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

Tabla 39. Cálculo del sistema térmico DUALSUN.

Sistema solar Térmico	
Rendimiento del sistema	22.56%
Superficie Captación	10.81 m ²
Número de paneles	6.51

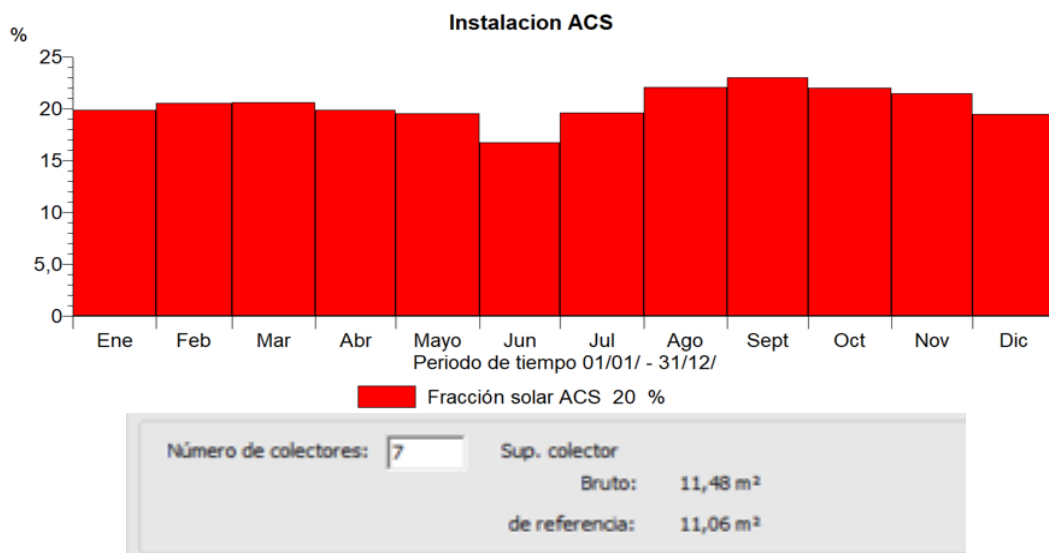


Figura 19. Rendimiento del sistema, superficie de colector bruto y número de paneles (Valentin Software, 2017)

De la misma manera como el sistema fotovoltaico se realizó una comparación con los valores calculados y el software de simulación, con el fin de determinar

porcentajes de error en los dos paneles de estudio. En la Tabla 41 y 42 se muestra los porcentajes que se obtuvo.

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (ECOMESH):

Tabla 40. Porcentaje de error sistema térmico calculado y simulado ECOMESH.

ANÁLISIS DE ERROR PANEL PV/T ECOMESH	Sistema solar Térmico CALCULADO	Sistema solar Térmico SIMULADO	Porcentaje de ERROR (%)
Rendimiento del sistema (%)	25.63%	26%	-1.4
Superficie Captación (m ²)	9.54	9.66	-1.2
Número de paneles	5.93	6	-1.2

Panel Fotovoltaico Térmico PV/T (DUALSUN):

Tabla 41. Porcentaje de error sistema térmico calculado y simulado DUALSUN.

ANÁLISIS DE ERROR PANEL PV/T DUALSUN	Sistema solar Térmico CALCULADO	Sistema solar Térmico SIMULADO	Porcentaje de ERROR (%)
Rendimiento del sistema (%)	22.56%	20%	12.8
Superficie Captación (m ²)	10.82	11.48	-5.7
Número de paneles	6.51	7	-7.0

En referencia a los resultados calculados y simulados, para el sistema térmico se marca que son resultados mayores a los del cálculo, eso también se observa en el valor negativo de los porcentajes. Es decir que para el diseño se consideró valores mayores en pérdidas a diferencia del simulador. De esta manera el diseño al ser evaluado resultó ser satisfactorio para el sistema térmico.

3.4 ANALISIS ECONÓMICO

Para establecer el precio de inversión total del proyecto se contó con todos los elementos que constan en la instalación, es necesario mencionar que los paneles híbridos termo fotovoltaicos no se comercializan en el país. Este impide tener una cotización, ya que además estas empresas se dedican además a la instalación de este tipo de paneles. Por lo demás los materiales se pueden encontrar en el país, algo que permiten reducir de alguna manera el costo total de inversión.

Los elementos que se utilizaron en el sistema se detallan en la Tabla 43.

Tabla 42. Costo de inversión total.

Descripción	cantidad	Valor Unitario	Valor
Paneles Termo fotovoltaicos PV/T Ecomesh	12	\$901.33	\$10,815.96
Sistema Inyección Cero Fotovoltaica Circutor CDP-0	1	\$909.20	\$909.20
Cableado y conectores sistema fotovoltaico	16	\$3.85	\$61.60
Inversor Zigor Solar HIS1 7 compact	1	\$1,500.00	\$1,500.00
Fusible de 25 A	1	\$15.00	\$15.00
Fusible de 63 A	1	\$25.00	\$25.00
Tubería PVC 12" 6M	2	\$15.00	\$30.00
Saunier Duval, BDLE 300	1	\$750.09	\$750.09
Bomba de circulación WASSERMANN FPA 20-120	1	\$160.00	\$160.00
Mano de obra	1	\$400.00	\$400.00
TOTAL			\$14,666.85

De igual manera como se realizó en sistemas, el costo de inversión con el segundo panel PV/T se presenta el valor total de la inversión que es de \$13,892.73 en el Anexo 2 se presenta más a detalle.

De igual manera en el desarrollo del análisis se presentarán dos casos; el caso I cuando la energía eléctrica y el gas de uso doméstico de 15Kg tenga subsidio, lo que en la actualidad sucede en el país, y el caso II cuando se eliminen los subsidios de dichos servicios. En primer lugar, se tomó el valor anual de los kilowatts hora que necesita la vivienda y esto a su vez con el costo en dólares de la energía utilizada.

Por otro lado, se recabo información del número de cilindros de gas que se consumen mensualmente en la vivienda y de esta forma obtener un resultado al año del consumo.

Con el fin de continuar con el análisis, se procede a mostrar las tablas de consumos tanto para el Caso I como para el Caso II, consiguiendo lo siguiente:

Caso I:

Consumo de energía eléctrica mensual y anual.

Tabla 43. Consumo energía eléctrica con subsidio.

MES	Consumo de energía mensual (kWh)	Consumo de energía mensual
Enero	195	\$18.2
Febrero	167	\$15.3
Marzo	169	\$15.5
Abril	188	\$17.5
Mayo	169	\$15.6
Junio	196	\$18.3
Julio	179	\$16.6
Agosto	180	\$16.7
Septiembre	188	\$17.5
Octubre	177	\$16.4
Noviembre	171	\$15.7
Diciembre	177	\$16.4
Total anual		\$199.52

Consumo de gas de uso doméstico de 15Kg mensual y anual.

Tabla 44. Consumo de gas doméstico con subsidio.

MES	Cantidad cilindro gas utilizado	Precio cilindro de gas	Total \$
Enero	3	\$3.5	\$10.5
Febrero	3	\$3.5	\$10.5
Marzo	3	\$3.5	\$10.5
Abril	3	\$3.5	\$10.5
Mayo	3	\$3.5	\$10.5
Junio	3	\$3.5	\$10.5
Julio	3	\$3.5	\$10.5
Agosto	3	\$3.5	\$10.5
Septiembre	3	\$3.5	\$10.5
Octubre	3	\$3.5	\$10.5
Noviembre	3	\$3.5	\$10.5
Diciembre	3	\$3.5	\$10.5
Total anual			\$126.0

Caso II:

El consumo de energía eléctrica mensual y anual para este caso tiene que puntualizar que es kilowatts hora es de 0.13 centavos (Organización Latinoamericana de energía OLADE, 2011).

Tabla 45. Consumo energía eléctrica sin subsidio.

MES	Consumo de energía mensual (kWh)	Consumo de energía mensual
Enero	195	\$28.4
Febrero	167	\$24.3
Marzo	169	\$24.6
Abril	188	\$27.4
Mayo	169	\$24.6
Junio	196	\$28.5
Julio	179	\$26.1
Agosto	180	\$26.2
Septiembre	188	\$27.4
Octubre	177	\$25.8
Noviembre	171	\$24.9
Diciembre	177	\$25.8
Total anual		\$313.9

Para el caso de gas doméstico de 15 Kg el cilindro sin subsidio tiene un precio de \$13.5 (Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero, 2013).

Tabla 46. Consumo de gas doméstico sin subsidio.

MES	Cantidad cilindro gas utilizado	Precio cilindro de gas	Total \$
Enero	3	\$13.5	\$40.5
Febrero	3	\$13.5	\$40.5
Marzo	3	\$13.5	\$40.5
Abril	3	\$13.5	\$40.5
Mayo	3	\$13.5	\$40.5
Junio	3	\$13.5	\$40.5
Julio	3	\$13.5	\$40.5
Agosto	3	\$13.5	\$40.5
Septiembre	3	\$13.5	\$40.5
Octubre	3	\$13.5	\$40.5
Noviembre	3	\$13.5	\$40.5
Diciembre	3	\$13.5	\$40.5
Total anual			\$486.0

4.1 EMISIONES DE CO2

El objetivo fundamental del proyecto es evitar en lo posible la emisión de gases contaminantes, que se producen tanto para la energía eléctrica como para gas licuado de petróleo.

Es así que, con el afán de determinar la cantidad de carbono que una vivienda contamina al planeta, se realiza por medio de un factor que compara el carbono con los kilowatts hora de energía que produce para la generación eléctrica. Este valor presenta el costo tonelada kilogramo de CO₂ que se libera a la atmosfera. En el caso de la generación de energía eléctrica el factor de emisión de CO₂ es de “0.5669 kgCO₂/kWh” este permite determinar cuánto contamina la energía que necesita la vivienda” (Factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador , 2011). En la Tabla 48 se indica las emisiones de carbono.

Tabla 47. Cálculo de consumo de CO₂ de la vivienda.

Energía mensual sistema FV (kWh/año)	Factor de emision de CO ₂ (KgCO ₂ /kWh)	Emisiones CO ₂ evitadas (KgCO ₂ /kWh)	Emisiones CO ₂ evitadas (tCO ₂ /kWh)
3619.92	0.5669	2052.13	2.3

Con los cálculos realizados previamente se procede a realizar la operación de análisis de la inversión. Para establecer qué tan rentable económicamente será el proyecto se analiza el valor actual neto más conocido como (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

4.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Es un método que permite determinar el valor presente de un determinado número de entrada de efectivo, en este caso la inversión que representa el proyecto. Consiste en actualizar pagos, cobros de un proyecto o inversión y calcular su diferencia al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros o en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con la inversión inicial. Otro valor que incluye en el cálculo es el costo capital, no es más que la tasa de rendimiento que debe obtener la empresa o proveedor, de la implementación del proyecto en este caso de estudio. Además, el costo capital del proyecto será de 2% tomando en cuenta que el costo unitario de los paneles es muy elevado y todavía en el país no existen leyes que promuevan este tipo de sistemas.

$$VAN = -I \sum_{n=1}^n \frac{Q_n}{(1 + C_p)^n} \quad [53]$$

Donde:

I = Inversión del proyecto

n = número de años de recuperación de la inversión

C_p = Costo capital

Qn = flujo de capital anual basado en el consume de servicios básicos

4.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

En una inversión, es el promedio de los beneficios futuros que se espera de la inversión, esto en el supuesto de reinvertir en el caso que sea rentable. De manera más simple, se define como el coste de descuento con la que el valor actual neto (VAN) es igual a cero.

Es necesario mostrar el resultado que arrojo estos análisis cabe mencionar que el tiempo de recuperación de la inversión es de 25 años. Se indica el cálculo con los dos casos correspondientes.

Caso I:

En el caso I se realiza en análisis del costo de proyecto incluyendo costo de planilla eléctrica anual y costo de gas para uso doméstico. El tiempo de recuperación es de 25 años con subsidio en los servicios básicos, al observar la Tabla 49 se puede verificar que el retorno de la inversión no es del todo aceptable, lo que no hace mencionar que realizar este tipo de proyectos cuando existe subsidios no es conveniente para una vivienda que intente usar este tipo de energías alternativas.

Tabla 48. Cálculo VAN y TIR con subsidio.

AÑOS		Ahorro por SST	Ahorro por SFV	Inversión Inicial	Ahorro total	Costo de capital	VANNeto	TIRNeto
Año 0	2016	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 1	2017	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 2	2018	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 3	2019	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 4	2020	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 5	2021	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 6	2022	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 7	2023	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 8	2024	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 9	2025	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 10	2026	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 11	2027	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 12	2028	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 13	2029	\$ 126.0	\$ 199.52	\$ (14,666.85)	\$ 325.52	2%	\$ (8,117.11)	-4%
Año 14	2030	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 15	2031	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 16	2032	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 17	2033	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 18	2034	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 19	2035	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 20	2036	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 21	2037	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 22	2038	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 23	2039	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 24	2040	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			
Año 25	2041	\$ 126.0	\$ 199.52		\$ 325.52			

Caso II:

En el caso II se realiza en mismo análisis, a diferencia que el costo de planilla eléctrica y gas de uso doméstico se incrementa significativamente. De la misma manera el tiempo de recuperación es de 25 años, el observar la Tabla 50 se puede verificar que, al eliminarse los subsidios, este tipo de proyectos es significativamente rentable realizarlos, a su vez el retorno de la inversión es importante, además mencionar que realizar este tipo de proyectos da un beneficio al cliente, ya que el excedente que produce el sistema se puede vender.

Se puede apreciar que después de recuperar la inversión existe una ganancia de \$ 949.96 dólares en este caso respectivamente.

Tabla 49. Cálculo VAN y TIR sin subsidio.

AÑOS		Ahorro por SST	Ahorro por SFV	Inversión Inicial	Ahorro total	Costo de capital	VANNeto	TIRNeto
Año 0	2016	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 1	2017	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 2	2018	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 3	2019	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 4	2020	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 5	2021	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 6	2022	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 7	2023	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 8	2024	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 9	2025	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 10	2026	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 11	2027	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 12	2028	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 13	2029	\$ 486.0	\$ 313.91	\$ (14,666.85)	\$ 799.91	2%	\$949.96	3%
Año 14	2030	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 15	2031	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 16	2032	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 17	2033	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 18	2034	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 19	2035	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 20	2036	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 21	2037	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 22	2038	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 23	2039	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 24	2040	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			
Año 25	2041	\$ 486.0	\$ 313.91		\$ 799.91			

En la mayoría de proyectos similares al que se realiza, el objetivo es vender el excedente de energía a la empresa de distribución de la misma, pero al conocer que en el país hasta el momento no se realiza este tipo de prácticas, se presenta en la Tabla 51, el excedente del sistema mensual y anual y esto traducido a dólares tomando en cuenta que el costo actual de kilowatts hora de energía eléctrica es de 0.08 centavos, esto como redito al cliente que realiza la inversión.

Tabla 50. Venta de energía eléctrica.

MES	Consumo de energía mensual (kWh)	Consumo de energía mensual	Energía mensual sistema FV (kWh)	Excedente de energía (kWh)	Venta de energía mensual \$
Enero	195	\$18.2	301.7	106.66	\$10.75
Febrero	167	\$15.3	301.7	134.66	\$13.57
Marzo	169	\$15.5	301.7	132.66	\$13.37
Abril	188	\$17.5	301.7	113.66	\$11.46
Mayo	169	\$15.6	301.7	132.66	\$13.37
Junio	196	\$18.3	301.7	105.66	\$10.65
Julio	179	\$16.6	301.7	122.66	\$12.36
Agosto	180	\$16.7	301.7	121.66	\$12.26
Septiembre	188	\$17.5	301.7	113.66	\$11.46
Octubre	177	\$16.4	301.7	124.66	\$12.57
Noviembre	171	\$15.7	301.7	130.66	\$13.17
Diciembre	177	\$16.4	301.7	124.66	\$12.57
Total anual		\$199.52	3619.92	1463.92	\$147.56

Se observa de igual manera el valor en dólares al momento de vender energía será de \$147.56 además, de que la vivienda tendrá con el sistema en funcionamiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Indicar que es posible implementar este sistema desde la parte técnica y de recurso solar en el lugar de estudio, pues se obtuvo resultados favorables para el desempeño del sistema, sin embargo, económicamente el retorno de la inversión es muy largo por sus altos costos de los dispositivos, pues no se los manufactura en el país y se los debe importar o a su vez que existan políticas a favor de este tipo de alternativas energéticas con el único propósito de abaratar costos y tener incentivos propositivos a favor del mismo.
- Para recopilar información de los niveles de radiación en el lugar de estudio, se utilizó la página de meteorología de la NASA ya que información específica para el sitio del proyecto es escasa y solo se encuentra niveles de radiación en el cantón Quito, esto permitió partir de manera más concreta el proceso de cálculo.
- Al usar paneles híbridos termo fotovoltaicos, fue un gran reto encontrar información detallada de características técnicas para realizar los cálculos, fue necesario pedir información a las empresas que se encargan de manufacturar estos dispositivos, es más, al conocer que relativamente este tipo de dispositivos son nuevos en el mercado, fue imposible encontrar más variedad de estos elementos.
- Determinar un inversor adecuado para el sistema, partió de la premisa de encontrar uno que trabajó a 110 Vca, ya que la mayoría de inversores trabaja a dos fases y en ciertos casos hasta tres, por lo que se realizó una búsqueda minuciosa con el fin de encontrar el inversor que se acopló a las necesidades del estudio, se encontró este dispositivo con la única alternativa, ser de alto voltaje, requisito para nuestro sistema.
- El sistema solar térmico se comparó con un colector netamente térmico, pues arrojo valores de rendimiento menores comparado con el sistema fotovoltaico, es así que se logró detallar mayor rendimiento térmico en comparación con el otro, es así que nos permite concluir que en el sitio de estudio es muy favorable realizar este tipo de energías alternativas.
- El material de la tubería del sistema solar térmico se concluyó que sea de PVC, por ser más barato para el medio es de fácil implementación al

cotejar con tubería de cobre ya que es necesario de un experto para realizar el montaje de esta tubería y además el costo sería mayor.

- Se puede tomar en consideración en el caso de tener alguna necesidad específica, colocar una bomba de circulación con el fin de cubrir con el caudal en toda la edificación, en el presente estudio no se requirió del mismo ya que el acumulador se ubicó en la parte superior de la vivienda lo que por gravedad proporciona del recurso sin ningún inconveniente a toda la vivienda

RECOMENDACIONES

- Es necesario para este tipo de proyectos basarse en normas ya existentes, esto permite de mejor manera realizar el proceso de dimensionamiento, además, que esto permite no tener ningún inconveniente al faltar normas de construcción en el país.
- Se recomienda para el dimensionamiento fotovoltaico tomar pérdidas por inclinación, sombreado, conversión y cableado con el fin de mantener un rango de seguridad suficiente para suplir la demanda de la vivienda, de igual manera el dimensionamiento térmico es necesario tomar en cuenta las pérdidas de la tubería y si es o no necesario agregar una bomba de circulación dependiendo de este caso particular.
- Es de gran ayuda utilizar un software de simulación de instalaciones tanto fotovoltaicas y térmicas con la finalidad de avalar los resultados que se obtuvo a través del cálculo de dimensionamiento.

BIBLIOGRAFIA

- Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero. (2013).
- Arenas Sánchez, D. A., & Zapata Castaño, H. S. (2011). Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones. Pereira.
- Castejón, A., & Santamaría, G. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas. (Editex, Ed.) Editex.
- Castejón Oliva, A., & Santamaría Herranz, G. (2010). Instalaciones Solares Fovovoltaicas. EDITEX.
- Castillo Meraz, R., Martínez Montejano, R., Delgado Aranda, F., & Campos Cantón, I. (2013). Sistema híbrido fotovoltaico-eólico para la generación de energía eléctrica. Universidad Autónoma de San Luís Potosí.
- Catejon, A., & Santamaria, G. (2010). Instalaciones Solares Fovovoltaicas de Ingeniería. (Editex, Ed.)
- Chavez, I. (2001). Dimensionado o Diseño de Sistemas Solares Fovovoltaicos Autónomos. Energía y tu?
- CLIMATE-DATA.ORG. (2015). CLIMATE-DATA.ORG. Obtenido de <https://en.climate-data.org/location/34394/>
- Cochancela Araujo, J. R., & Astudillo Salinas, P. A. (2012). Análisis energético de centrales eólicas. Universidad de Cuenca. Cuenca.
- CODENSA. (2014). ET204 Postes metálicos para alumbrado público.
- Colegio oficial de ingenieros de telecomunicación;. (2002). Energía solar fotovoltaica. Madrid: Ibergraphi.
- Consejo Nacional de Electricidad. (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. CONELEC.
- DB-HS Sección HS4. (2006). Documento Básico de Salubridad.
- Departamento de Energía, EE.UU. (2007). Sistemas Eólicos Pequeños para Generación de Electricidad.
- Elektra, G. (15 de Septiembre de 2016). Hora Solar Pico. Obtenido de <http://www.grupoelektra.es/blog/wp-content/uploads/2014/10/como-somos-los-delektra-que-son-las-HSP.pdf>
- EMAPS. (2014). Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Quito.
- EndeF. (Diciembre de 2016). Panel Solar Híbrido ECOMESH. Obtenido de <http://www.ecomesh.es>
- Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador . (2011).
- Fedeta. (2015). METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MICRORREDES.
- Gálvez Román, R. (2005). Diseño y cálculo preliminar de la torre de un aerogenerador. Universidad Carlos III de Madrid.
- Guauque Pesca, E. A., & Torres Ardila, G. F. (2014). Análisis aerodinámico de una microturbina eólica de vertical para la generación de energía eléctrica en una zona urbana de Bogotá, Colombia.
- Hernández Arrondo, M. (2012). Análisis de factibilidad de la implantación de sistemas aislados híbridos eólicos-diésel en comunidades rurales remotas de Bolivia. Diseño de un sistema de este tipo en una comunidad boliviana en la que resulte factible.

- Herrera Sánchez, O., Vilalta, G., Seeger, K., & Schellong, W. (2007). MATLAB para la evaluación del recurso eólico. La Habana, Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
- <http://www.carboncredit2012.com>. (2012).
- Hybrid PV-T Solar Technology - Power and Heat with Solar Angel PV-T. (Junio de 2016). Obtenido de <http://www.solarangel.com>
- INAMHI. (2013).
- Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid y Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT. (2001).
- Instituto Nacional de Estadística . (2013). Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua .
- Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE). (2014). Consumos del Sector Residencial en España.
- Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE). (2013). Agua Caliente Sanitaria Central.
- Jain, P. (2011). Wind Energy Engineering. Mc Graw Hill.
- Joshi, A., Iwari, A., Tiwari, G., Dincer, I., & Reddy, B. (2008). Performance Evaluation of a Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T).
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2013). Atlas Eólico del Ecuador con fines de generación eléctrica. MEER.
- Moreno Figueredo, C. (2010). Electrificación rural con sistema eólico aislado. Energía y tu?
- Moreno Figueredo, C. (2011). Estimación de la energía producida por un Aerogenerador. Energía y tu?
- Moreno Figueredo, C. (2011). ¿Cómo medir la potencialidad del viento? Energía y tu.
- Moreno Figueredo, C., & Herrera Sánchez, O. (2008). Método simplificado para la determinación del potencial eólico cuando se desean instalar pequeñas máquinas eólicas. EcoSolar.
- Mott, R. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson.
- NASA. (2007). Atmospheric Science Data Center.
- NASA. (Febrero de 2017). Atmospheric Science Data Center. Obtenido de <https://www.earthdata.nasa.gov/about/daacs/daac-asdc>
- Network Biomass Users (BUN-CA). (2002). Manuales sobre energía renovable: Solar Fotovoltaica. San José, Costa Rica.
- Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC). (2014).
- Orellana Lalangui, A., & Sarango Chamba, J. (2015). Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrial, sector el Plateado servido por la Empresa Eléctrica Regional del Sur. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Organización Latinoamericana de energía OLADE. (2011).
- Pareja Aparicio, M. (2010). Energía solar fotovoltaica. Barcelona: Marcombo.
- Perpiñán Lamigueiro, O. (2012). Energía solar fotovoltaica. España.
- Pinilla, A. (1997). Manual de aplicación de la energía eólica. INEA.
- Sogari, N. (2013). Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para proveer de energía a una comunidad. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.

- Solaire 2G. (Noviembre de 2016). SMART SOLAR PANELS FOR SMART BUILDINGS. Obtenido de <https://www.dualsun.fr>
- Tagle Salazar, P., & Duque Rivera, J. (2010). Diseño preliminar de un sistema híbrido de suministro de energía doméstica para una comunidad aislada en base al modelado en el software HOMER. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil.
- Torres, P. (2016). Apuntes de Cimentaciones Ingeniería Civil. Quito.
- Universidad Técnica Federico Santa María. (s.f.). Tecnología de las Baterías. Departamento de Electronica. Chile.
- Valentin Software. (Junio de 2017). PV sol. Obtenido de Photovoltaic and Solar Software: www.valentin-software.com/en
- Villarrubia López, M. (2012). Ingeniería de la energía eólica. Barcelona: MARCOMBO.
- Visiga Delgado, D. (s.f.). Generación eléctrica mediante un sistema híbrido hidráulico fotovoltaico aislado de la red para una pequeña población rural.
- www.wassermann.cn . (2014). Obtenido de www.wassermann.cn .
- Zigor Corporación S.A. (Noviembre de 2016). www.zigor.com. Obtenido de CATÁLOGO ENERGÍAS RENOVABLES ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA.

ANEXOS

Anexo 1

Dimensionamiento ACS con colector netamente térmico

MES	Radiación solar global diaria sobre la superficie inclinada(kWh/m2/día)	Número días consumo (días/mes)	Radiación Solar global mensual inclinada (kWh/m2 mes)	Radiación Solar global mensual inclinada (Mj/m2 mes)	Radiación Solar diaria inclinada (Mj/m2)	Radiación Solar diaria inclinada (Ws/m2)	Tiempo útil de sol en (s)	Intensidad útil día (W/m2)
Enero	4.31	31	133.61	481.00	15.52	15516000	18000	862.00
Febrero	4.38	28	122.64	441.50	15.77	15768000	18000	876.00
Marzo	4.41	31	136.71	492.16	15.88	15876000	18000	882.00
Abril	3.98	30	119.4	429.84	14.33	14328000	18000	796.00
Mayo	3.63	31	112.53	405.11	13.07	13068000	18000	726.00
Junio	3.50	30	105	378.00	12.60	12600000	18000	700.00
Julio	3.76	31	116.56	419.62	13.54	13536000	18000	752.00
Agosto	4.10	31	127.1	457.56	14.76	14760000	18000	820.00
Septiembre	4.14	30	124.2	447.12	14.90	14904000	18000	828.00
Octubre	4.32	31	133.92	482.11	15.55	15552000	18000	864.00
Noviembre	4.52	30	135.6	488.16	16.27	16272000	18000	904.00
Diciembre	4.18	31	129.58	466.49	15.05	15048000	18000	836.00
				5388.66				9846.00

MES	Temperatura ACS (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Intensidad útil día (W/m2)	Parámetro X (°C m2/W)	Parámetro x2 (°C m2/W)
Enero	60	17.5	862.00	0.05	0.0024309
Febrero	60	17.6	876.00	0.05	0.0023427
Marzo	60	18	882.00	0.05	0.0022676
Abril	60	17.9	796.00	0.05	0.0027973
Mayo	60	17.8	726.00	0.06	0.0033787
Junio	60	17.3	700.00	0.06	0.0037210
Julio	60	17.5	752.00	0.06	0.0031941
Agosto	60	18.6	820.00	0.05	0.0025490
Septiembre	60	19.3	828.00	0.05	0.0024162
Octubre	60	19.3	864.00	0.05	0.0022190
Noviembre	60	18.3	904.00	0.05	0.0021278
Diciembre	60	17.6	836.00	0.05	0.0025723
		18.06			

MES	Radiación Solar diaria inclinada (Mj/m2)	Rendimiento mensual colector η (%)	Aporte solar diario (Mj/m2)	Energía neta (Mj/m2)	Número días consumo (días/mes)	Energía unitaria disponible mensual (Mj/m2 año)
Enero	15.52	0.72	11.17	8.37	31	259.61
Febrero	15.77	0.72	11.38	8.53	28	238.97
Marzo	15.88	0.72	11.49	8.61	31	267.03
Abril	14.33	0.71	10.20	7.65	30	229.42
Mayo	13.07	0.70	9.15	6.86	31	212.65
Junio	12.60	0.69	8.74	6.55	30	196.60
Julio	13.54	0.70	9.52	7.14	31	221.40
Agosto	14.76	0.72	10.58	7.94	31	246.06
Septiembre	14.90	0.72	10.73	8.05	30	241.44
Octubre	15.55	0.72	11.27	8.45	31	262.00
Noviembre	16.27	0.73	11.83	8.87	30	266.08
Diciembre	15.05	0.72	10.78	8.09	31	250.68
						2891.94

MES	Parámetro X (°C m2/W)	Parámetro x2 (°C m2/W)^2	Rendimiento η (%)	Coef. pérdidas térmicas a1 (W/°C m2)	Coef. pérdidas térmicas a2 (W/°C m2)^2	Rendimiento mensual colector η (%)
Enero	0.05	0.002	0.83	2.237	0.020	71.97
Febrero	0.05	0.002	0.83	2.237	0.020	72.17
Marzo	0.05	0.002	0.83	2.237	0.020	72.34
Abril	0.05	0.003	0.83	2.237	0.020	71.16
Mayo	0.06	0.003	0.83	2.237	0.020	69.99
Junio	0.06	0.004	0.83	2.237	0.020	69.35
Julio	0.06	0.003	0.83	2.237	0.020	70.35
Agosto	0.05	0.003	0.83	2.237	0.020	71.70
Septiembre	0.05	0.002	0.83	2.237	0.020	72.00
Octubre	0.05	0.002	0.83	2.237	0.020	72.46
Noviembre	0.05	0.002	0.83	2.237	0.020	72.68
Diciembre	0.05	0.003	0.83	2.237	0.020	71.65
						71.48

Anexo 2

Costo inversión total panel PV/T DUALSUN

Descripción	cantidad	Valor Unitario	Valor
Paneles Termo fotovoltaicos PV/T DualSun	12	\$ 836.82	\$ 10,041.84
Sistema Inyección Cero Fotovoltaica Circutor CDP-0	1	\$ 909.20	\$ 909.20
Cableado y conectores sistema fotovoltaico	16	\$ 3.85	\$ 61.60
Inversor Zigor Solar HIS1 7 compact	1	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
Fusible de 25 A	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Fusible de 63 A	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Tubería PVC 12" 6M	2	\$ 15.00	\$ 30.00
Saunier Duval, BDLE 300	1	\$ 750.09	\$ 750.09
Bomba de circulación WASSERMANN FPA 20-120	1	\$ 160.00	\$ 160.00
Mano de obra	1	\$ 400.00	\$ 400.00
TOTAL			\$ 13,892.73