

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE AGUA
SANITARIA CALIENTE (ACS), PARA REDUCCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA Y USO DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP).**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

Narváez Sinchi Mario Fernando.

Urigüen Peralta Christian Fernando.

Tutor:

ING. Xavier Serrano Guerrero. M.Sc.

CUENCA, MAYO DEL 2016

DERECHOS DE AUTOR

Los autores son los únicos responsables por los contenidos, conceptos, ideas, análisis, resultados investigativos y manifestados en el presente proyecto técnico “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIBRIDO DE AGUA SANITARIA CALIENTE (ACS), PARA REDUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y USO DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP).**”

A través de la presente declaración, cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y normativa vigente.

Cuenca, Mayo del 2016



MARIO F. NARVAEZ

010438300-5



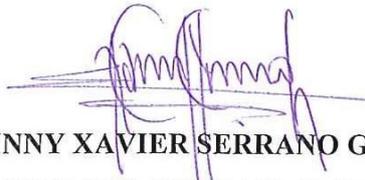
CHRISTIAN F. URIGÜEN

010556625-1

CERTIFICACIÓN

En calidad de DIRECTOR DEL PROYECTO TECNICO *“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA HIBRIDO DE AGUA SANITARIA CALIENTE (ACS), PARA REDUCCION DE ENERGIA ELECTRICA Y USO DE GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP).”*, elaborada por MARIO FERNANDO NARVAEZ SINCHI y CHRISTIAN FERNANDO URIGÜEN PERALTA, declaro y certifico la aprobación del presente trabajo de tesis basándose en la supervisión y revisión de su contenido.

Cuenca, Mayo del 2016



ING. JOHNNY XAVIER SERRANO GUERRERO. MSc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AGRADECIMIENTOS

De manera especial al Ing. Xavier Serrano por la dedicación mostrada al dirigir nuestro proyecto de titulación desde su inicio hasta su exitosa culminación.

Además un sincero agradecimiento a todos los compañeros y amigos que a lo largo de la carrera nos brindaron su apoyo.

Mario Narváez Sinchi – Christian Urigüen Peralta

DEDICATORIA

Dedico esta meta cumplida a mis familiares y amigos que siempre estuvieron apoyándome en todo momento, en especial a mi madre, quien siempre fue la inspiración para cumplir con el objetivo de culminar la carrera, ya que con su apoyo incondicional me ayudó a superar todos los obstáculos que se presentaron.

Mario Narváez Sinchi

Dedico esta logro a toda mi familia, ya que sin el apoyo incondicional que me han brindado cada uno de ellos en los buenos y malos momentos de mi trayectoria universitaria, no hubiese culminado con éxito la Carrera universitaria, este logro de vida se lo dedico especialmente a mi padre que desde el cielo siempre me ha guiado y cuidado.

Christian Urigüen Peralta

ÍNDICE

ANTECEDENTES	
JUSTIFICACIÓN	
INTRODUCCIÓN	
Agradecimientos	IV
Dedicatoria.....	5
Índice.....	6
FIGURAS.....	11
ANTECEDENTES.....	14
JUSTIFICACIÓN.....	15
INTRODUCCIÓN	16
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	17
1.1. ENERGÍA	17
1.1.1. ENERGÍAS RENOVABLES	17
1.1.2. ENERGÍA SOLAR.....	17
1.2. TIPOS DE RADIACION SOLAR	18
1.3. SISTEMA SOLAR TERMICO (SST) PARA AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS).....	18
1.3.1. ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO	20
1.3.2. CAPTADOR SOLAR.....	20
1.3.3. SISTEMAS DE CIRCULACIÓN.....	21
1.3.4. SISTEMAS DE INTERCAMBIO.....	21
1.3.5. SISTEMA POR ACUMULACIÓN.....	22
1.4. CAPTADOR SOLAR.....	24
1.4.1. PARTES DE UN CAPTADOR SOLAR PLANO.....	24
1.4.2. CAPTADOR SOLAR DE TUBOS DE VACÍO.....	25
1.4.3. MODELO HEAT PIPE.....	25

1.5.	MÉTODOS CONVENCIONALES PARA LA OBTENCIÓN DE ACS.....	26
1.5.1.	EFFECTO JOULE.....	26
1.5.2.	POR EFECTO INDUCTIVO.....	27
1.6.	PANELES FOTOVOLTAICOS.....	27
1.6.1.	TIPOS DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS	29
1.6.2.	CÉLULAS SOLARES	29
1.7.	SISTEMAS HÍBRIDOS.....	30
1.7.1.	COLECTORES HÍBRIDOS FOTOVOLTAICOS_TÉRMICOS (PV/T).....	30
1.7.2.	SISTEMAS AUXILIARES	31
1.7.3.	SISTEMA SOLAR TERMICO (SOLAR/DIESEL).....	32
Capítulo 2	34
2.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ACS.....	34
2.1.	DIMENSIONAMIENTO DEL COLECTOR SOLAR.....	34
2.2.	DIMENSIONAMIENTO DE PANELES FOTOVOLTAICOS	36
3.	3. Capítulo 3.....	38
	SIMULACIONES Y ANALISIS DE LOS SISTEMAS ACS.....	38
3.1.	ESCENARIO 1. SISTEMA TERMO SOLAR CON RECIRCULACIÓN FORZADA.....	38
3.2.	ESCENARIO 2: SISTEMA TERMO SOLAR CON RECIRCULACIÓN FORZADA E INTERCAMBIADOR DE CALOR.	39
3.3.	ESCENARIO 3: SISTEMA FOTOVOLTAICO CON RECIRCULACIÓN FORZADA.....	40
3.4.	CALCULO DE ENERGIA AUXILIAR REQUERIDA POR CADA SISTEMA	42

3.4.1. SISTEMAS AUXILIARES DE CALENTAMIENTO DE AGUA.....	42
3.4.2. SISTEMA AUXILIAR A (GLP).....	42
3.4.3. SISTEMA AUXILIAR ELECTRICO.....	43
3.4.4. SISTEMA TERMOSOLAR	43
3.4.5. SISTEMA TERMOSOLAR CON RECIRCULACIÓN FORZADA SIN INTERCAMBIADOR DE CALOR.	44
3.4.6. SISTEMA TERMOSOLAR CON INTERCAMBIADOR DE CALOR.	46
3.4.7. SISTEMA FOTOVOLTAICO	48
3.4.8. APOORTE ENERGÉTICO DE LOS SISTEMAS.....	49
4. CAPÍTULO 4.....	52
ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL	52
4.1. COSTOS CON SISTEMA A GAS.....	52
4.1.1.COSTO DEL COMBUSTIBLE ACTUAL (CON SUBSIDIO)	53
4.1.2. COSTO DEL COMBUSTIBLE PROYECTADO PARA 2017 (SIN SUBSIDIO).....	53
4.2.COSTOS CON SISTEMA ELECTRICO CONVENCIONAL. ..	54
4.3. COSTOS DE ENERGIA CON SISTEMA HIBRIDO SOLAR TERMICO ELECTRICO.....	55
4.3.1. COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (SIN SUBSIDIO)	55
4.3.2.COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (CON SUBSIDIO)	55
4.3.3. COSTO DE COMBUSTIBLE (GLP).....	55
4.4. REDUCCION DE EMISIONES DE CO2	57
4.4.1. SISTEMA ELECTRICO CONVENCIONAL	57
4.4.2. SISITEMA A GAS (GLP)	58
4.4.3. SISTEMA HIBRIDO CON AUXILIAR ELECTRICO.....	59
4.4.4. SISTEMA HIBRIDO CON AUXILIAR GLP.....	59

4.5.	EMISIONES DE CO2 CON SISTEMA HIBRIDO SOLAR TÉRMICO - ELÉCTRICO	61
4.6.	EVALUACION DE UN SISTEMA AUXILIAR A GAS (GLP) 62	
Capítulo 5.....		65
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO SOLAR ELÉCTRICO.....	65
5.1.	PARTES PRINCIPALES DEL SISTEMA TERMOSOLAR	66
5.1.1.	Colector Termo Solares	66
5.1.2.	Almacenamiento de ACS	67
5.1.3.	Sistema Auxiliar (Eléctrico).....	67
5.1.4.	Sistema de control.....	68
5.2.	MODELO DEL SISTEMA HIBRIDO.....	68
5.3.	RECONOCIMIENTO DE LA PLANTA SISTEMA AUXILIAR.....	69
5.4.	FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL	75
5.5.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIBRIDO.	76
5.6.	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE SISTEMA HIBRIDO SOLAR TÉRMICO ELÉCTRICO	79
5.7.	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	81
6.	Capítulo 6.....	83
Análisis de Resultados.....		83
6.1.	SISTEMA TERMO-SOLAR SIN INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	83
6.2.	SISTEMA TERMO-SOLAR CON INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	84
6.3.	SISTEMA FOTOVOLTAICO	85
CONCLUSIONES.....		88

RECOMENDACIONES	89
APÉNDICES	90
APÉNDICE A	90
APÉNDICE B	91
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	92

FIGURAS

Figura 1: Sistema Solar Térmico [6].....	19
Figura 2: Subsistemas de un SST para ACS. [7]	19
Figura 3: Clasificación de los colectores solares	20
Figura 4: Sistema de Circulación Natural. [8]	21
Figura 5: Sistema de Circulación Forzada. [8]	21
Figura 6: Sistema de Intercambio Exterior. [8]	22
Figura 7: Sistema de circulación con intercambiador interior. [8]	22
Figura 8: Sistema de conexión de acumulación centralizada. [8].....	23
Figura 9: Sistema de acumulación individual. [8]	23
Figura 10: Captador Solar Plano. [9]	24
Figura 11: Corte transversal de un Colector Plano. [9]	24
Figura 12: Estructura de un Captador Solar Plano. [9].....	25
Figura 13: Tubo Heat Pipe. [10]	26
Figura 14: Efecto Inductivo [10]	27
Figura 15: Efecto Fotoeléctrico. [11].....	28
Figura 16: Paneles solares fotovoltaicos. [11].....	28
Figura 17: Tipos de células fotovoltaicas. [11].....	30
Figura 18: Sistema hibrido fotovoltaico / térmico. [12]	31
Figura 19: Colector solar con sistema auxiliar. [14].....	31
Figura 20: Esquema del sistema termo solar.	34
Figura 21: Sistema Termo solar con recirculación forzada.	38
Figura 22: Aporte de temperatura del sistema termo solar vs Sistema Auxiliar.	39
Figura 23: Sistema Termo solar con recirculación forzada e intercambiador de calor	39
Figura 24: Aporte de temperatura del sistema Termo solar vs Sistema Auxiliar con intercambiador de calor.	40
Figura 25: Sistema Fotovoltaico con recirculación forzada.	41
Figura 26: Aporte térmico entre el sistema Fotovoltaico y el Sistema Auxiliar.	41
Figura 27: Aporte térmico entre el sistema Fotovoltaico y el Sistema Auxiliar.	42

Figura 29: Sistema Termo solar con intercambiador de calor y sistema Auxiliar.	46
Figura 30: Energía de salida del colector vs energía requerida por el sistema auxiliar durante un año, con intercambiador de calor	46
Figura 31: Aporte de energía del sistema foto voltaico vs Requerimiento de energía del sistema auxiliar	48
Figura 32: Aporte del Sistema térmico Vs Sistema Auxiliar.....	50
Figura 33: Sistema Termo Solar con intercambiador de calor vs Sistema Auxiliar.	50
Figura 34: Aporte térmico sistema fotovoltaico Vs sistema Auxiliar	51
Figura 35: Comparación de emisiones de CO2 entre sistema convencional y sistema híbrido	60
Figura 36: Especificaciones Técnicas del calefón. [32]	63
Figura 37: Conexión para apoyo a sistemas solares. [32]	64
Figura 38: Diagrama P&D del sistema híbrido.	65
Figura 39: Red de tuberías para circulación del fluido del colector Solar.....	66
Figura 40: Contenedor de la red de tuberías del Colector Solar.....	67
Figura 41: Tanque para almacenamiento de ACS.	67
Figura 42: Diagrama de flujo para el control de temperatura y flujo.	68
Figura 43: Diseño Completo del Sistema a Implementar.	69
Figura 44: Datos tomados para obtención de la planta.....	70
Figura 45: Estimación de modelo de la planta.....	71
Figura 46: Planta estimada por Matlab:.....	72
Figura 47: Datos del controlador PID para la planta calculada.	73
Figura 48: Respuesta del Controlador a la planta calculada.	73
Figura 49: Datos del controlador PID de la planta estimada por Matlab.	74
Figura 50: Respuesta del Controlador PID a la planta estimada por Matlab...74	
Figura 51 Esquema del sistema de control para sistema auxiliar eléctrico.....	75
Figura 52: Incidencia de la radiación solar global en la ciudad de Cuenca el 29 de mayo del 2016.	76
Figura 53: Incremento de la temperatura en el tanque de almacenamiento.....	77
Figura 54: Temperatura de alcance por parte del sistema híbrido termo-solar eléctrico.....	78
Figura 55: Aporte de energía por parte del sistema híbrido.	78

Figura 56: Comparación potencia consumida por sistema eléctrico convencional y sistema híbrido.	79
Figura 57: Tensión, corriente y potencia aplicadas a la resistencia de inmersión.	80
Figura 58: Regulación de tensión y corriente aplicadas al sistema auxiliar eléctrico.	81
Figura 60: Aporte de energía del sistema termo solar con intercambiador de calor y sistema auxiliar.....	84
Figura 61: Aporte de energía del sistema fotovoltaico y el sistema auxiliar...	85
Figura 62 Aporte y requerimiento anual de energía	85

ANTECEDENTES.

El aprovechamiento y la optimización de la energía solar ha sido uno de los temas de mayor interés en los últimos años por parte de los investigadores, quienes buscan mejorar sistemas híbridos que permitan obtener la mayor eficiencia al utilizar la radiación que es emitida hacia la superficie terrestre por parte del sol.

JUAN CARLOS BURBANO J. (2006) desarrolla el proyecto “*DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA OPERANDO POR TERMOSIFÓN*” en el cual hace referencia al diseño de un colector solar para calentamiento de agua operado por termosifón, tomando en cuenta el requerimiento anual de una vivienda unifamiliar, también se hace el dimensionamiento del colector y del tanque.

Khelifa A, Touafek K, Benmoussa H, Tabet I, Adouane M. (2014) realizan el estudio del proyecto “*Hot Water System Based on the Hybrid Solar Collector Photovoltaic/Thermal PVT*” en donde se analiza las ventajas de la implementación de un sistema híbrido utilizado para la obtención de agua caliente y energía eléctrica, adaptando un sistema de refrigeración para el panel fotovoltaico ya que al aumentar la temperatura en el mismo su eficiencia tiende a bajar.

Mu Zhijun Wang Dianhua Guan Xin (2011) realiza el estudio de “*Design and Study on Small Solar Energy Photovoltaic Hot Water System*” en el cual se hace el análisis de un sistema híbrido fotovoltaico térmico enfocándose en el dimensionamiento de la red de tuberías para mejorar la eficiencia del sistema y reducir el consumo de energía eléctrica consumida por la bomba de agua utilizada en la recirculación del tanque de almacenamiento hacia el colector solar.

En el estudio de estos temas se busca métodos que permitan alcanzar más eficiencia en los sistemas híbridos ya existentes con el objetivo de incrementar el rendimiento de colectores y paneles fotovoltaicos además también de reducir costos de implementación, costos de mantenimiento.

JUSTIFICACIÓN.

Ante el inminente eliminación del subsidio al precio del tanque de gas doméstico de 15 Kg en el Ecuador, decretado por el gobierno, por consecuencia de la introducción del nuevo sistema de cocinas de inducción [19] y el alto precio al obtener Agua Sanitaria Caliente (ACS) por medio de energía eléctrica, es necesario un estudio de eficiencia y factibilidad en el diseño e implementación de un sistema que proporcione una solución rentable y que permita cubrir la demanda de este servicio.

Para dar una solución a este problema se pretende realizar un estudio en función de la demanda de ACS en un hogar conformado por 4 integrantes, que permita reducir costos de energía eléctrica y GLP utilizados específicamente para el calentamiento de agua.

El estudio de factibilidad y rentabilidad del sistema a diseñar es analizado en el software TRNSYS, permitiéndonos tener aproximaciones de las eficiencias de diferentes sistemas solares durante todo el año.

En función de los resultados obtenidos en las simulaciones se podrá proponer la implementación de un sistema termo solar o solar fotovoltaico, que cumpla con la mayoría de resultados esperados.

INTRODUCCIÓN

La demanda de energía eléctrica en el Ecuador está aumentando considerablemente según datos publicados en el “Plan Maestro de Electrificación 2013-2022” por la (ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad)), donde se da a conocer, que entre el año 2000 y 2012, la demanda de energía eléctrica ha crecido en promedio un 5.5% anual, se espera que para el 2017 este porcentaje ascienda hasta un 21.3% [1] [2]. Este gran incremento en la demanda energética del país se debe a la incorporación de las cocinas de inducción dentro de los hogares, es importante considerar también que la eliminación del subsidio al (GLP (Gas Licuado de Petróleo)) de uso doméstico por parte del gobierno parece ser inminente. [2]

Una alternativa, para mitigar las consecuencias de los cambios en las redes de distribución del país y que los costos a pagar por energía eléctrica no se incrementen, es optar por el uso de energías renovables, las cuales no generan contaminación al medio ambiente, además provienen de fuentes de energía gratuitas e inagotables. Este cambio se puede dar con la implementación de sistemas solares térmicos para obtener (ACS (Agua Caliente Sanitaria)), con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica y GLP, utilizados para este fin.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. ENERGÍA

Como definición de energía se denomina a la capacidad para producir trabajo mecánico, generar luz, generar calor, etc. La energía es una magnitud física que puede manifestarse de distintas formas: ya sea como energía potencial, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc.

1.1.1. ENERGÍAS RENOVABLES

Se denomina energía renovable a la energía proveniente de una fuente natural e ilimitada, por el hecho de que en estas fuentes la cantidad de energía no disminuye a medida que se hace uso de ella. Entre los tipos de energías renovables que se pueden obtener en el medio ambiente se encuentran energía solar, energía eólica, biomasa. [1]

Las energías renovables son una posible solución a la gran demanda de energía en el mundo, dado que las fuentes de energía no renovable, tales como el petróleo, carbón, gas natural etc., las cuales están próximas a agotarse, y actualmente cubren el 90% de la demanda mundial de energía, causando un alto impacto ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero. [1] [2]

Teniendo en cuenta estos aspectos la energía renovable es una alternativa ideal para cubrir una parte de la demanda de energía además protege el medio ambiente, por el hecho de provenir de fuentes que no generan CO_2 ni otros tipos de contaminantes.

1.1.2. ENERGÍA SOLAR

La energía solar es aquella emitida por el sol en forma de luz, que es interceptada directamente por la superficie de la Tierra. [1]

Esta energía proviene del proceso de fusión desarrollado en el sol, en donde aproximadamente se generan 600 millones de toneladas de helio, debido al ciclo conocido como protón – protón, se estima además que la potencia calorífica liberada por el sol es de 3.86×10^{23} kWh. [2]

Para aprovechar la energía solar se requiere transformar la radiación solar (fotones), en energía térmica, este efecto es conocido como foto-térmico, otra manera de aprovechar la radiación es mediante el efecto foto-químico obteniendo energía fotovoltaica. [3]

De la radiación solar total interceptada por la Tierra fuera de su atmosfera, solamente un tercio de ella llega a la superficie terrestre, donde su valor aproximado es de $1353 \frac{W}{m^2}$, valor conocido también como constante solar. [4] [5]

1.2. TIPOS DE RADIACION SOLAR

Directa Radiación que recibe la superficie de la Tierra sin que su trayectoria sufra cambio alguno, es decir que no ha sido desviada en su paso por la atmosfera. [2]

Difusa Parte de la radiación que llega a la superficie luego de pasar efectos de absorción, difusión y reflexión ocasionados por los gases presentes en la atmosfera. [2]

Albeo Es la parte de la radiación directa y difusa que es recibida por efecto de la reflexión en el suelo u en otros tipos de objetos cercanos. [2]

Como ya se mencionó anteriormente la radiación solar se la puede aprovechar por medio del efecto foto-térmico, haciendo uso de sistemas solares térmicos para obtención de agua caliente de uso doméstico o industrial.

1.3. SISTEMA SOLAR TERMICO (SST) PARA AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

Un sistema solar térmico es un conjunto de equipos y componentes que contribuyen al aprovechamiento de la energía solar con el fin de obtener ACS para uso doméstico. [6]

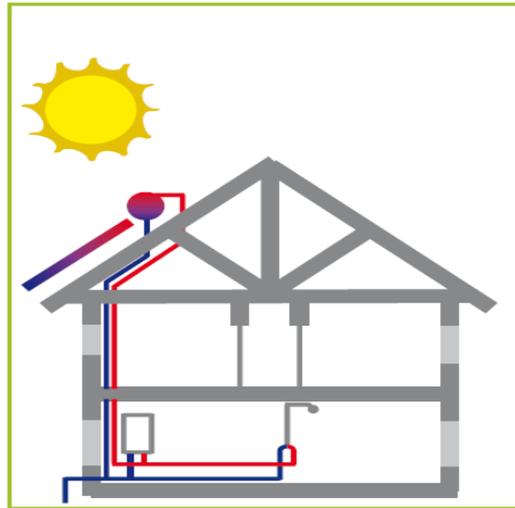


Figura 1: Sistema Solar Térmico [6]

Todo (SST) para su correcto funcionamiento requiere del acoplamiento de tres subsistemas principales.

Subsistema de captación: Constituido básicamente por los captadores y colectores solares.

Subsistema de acumulación: Está conformado por uno o varios depósitos acumuladores de energía.

Subsistema de consumo: Son todos los puntos de consumo dentro del domicilio.

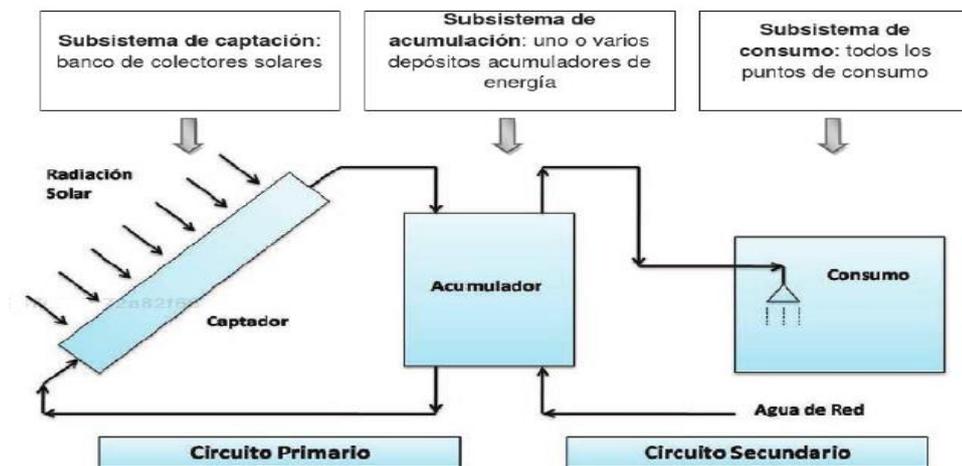


Figura 2: Subsistemas de un SST para ACS. [7]

La eficiencia de los sistemas solares térmicos está limitada por el diseño de cada uno de los componentes del sistema y por la interacción entre ellos.

1.3.1. ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

Un sistema solar térmico está constituido por una serie de elementos que son indispensables para su correcto funcionamiento, control, rendimiento, mantenimiento y seguridad del mismo. [7]

Los elementos que conforman un sistema térmico son:

- Captador o colector solar.- sistemas utilizados para la conversión de energía.
- Elementos de transmisión de energía térmica (intercambiador)
- Elementos para acumulación del agua caliente (subsistema de acumulación)
- Sistemas de control para la instalación. (subsistema de control)
- Sistema de aislamiento.- evita las pérdidas de calor y apoya en la obtención del rendimiento máximo del sistema.
- Elementos de apoyo auxiliar.- sistema utilizado para cubrir la demanda insatisfecha del SST y procurar mantener el suministro continuo de ACS. (subsistema de energía auxiliar)

1.3.2. CAPTADOR SOLAR

Un captador o colector solar es un elemento que tiene como función realizar la conversión de la radiación solar en energía térmica, la cual va a ser utilizada para el incremento de la temperatura de un fluido (agua, aceite, aire, etc.). Estos elementos de captación son instalados con un ángulo de inclinación fijo, el cual aporte a la máxima captación de energía.

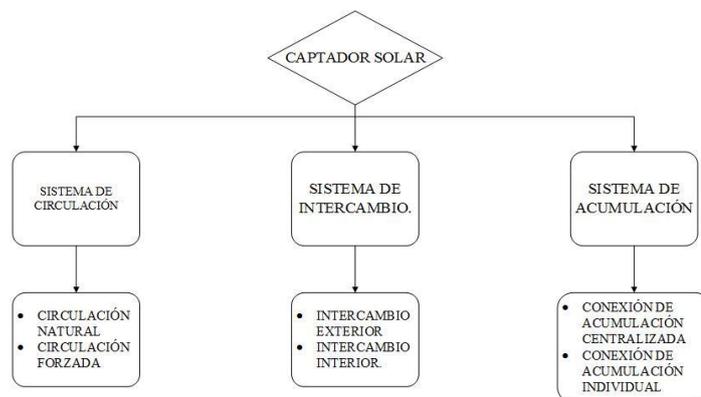


Figura 3: Clasificación de los colectores solares

1.3.3. SISTEMAS DE CIRCULACIÓN

CAPTADOR SOLAR POR CIRCULACIÓN NATURAL

Sistema conocido como termosifón, tiene la característica de que no interviene ningún elemento mecánico, como bombas, para aumentar la presión del fluido calo-portador al acumulador, donde la circulación del agua se da por la diferencia de temperatura entre el agua fría del acumulador y la caliente del captador. La diferencia de altura entre el acumulador al captador puede afectar la eficiencia del sistema.

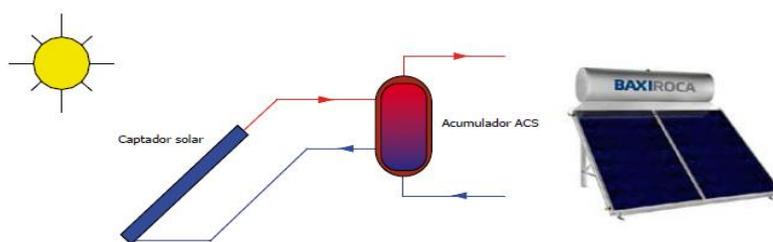


Figura 4: Sistema de Circulación Natural. [8]

CAPTADOR SOLAR POR CIRCULACIÓN FORZADA

En este sistema de captación se incorporan sistemas mecánicos, como bombas mecánicas, las cuales son utilizadas para generar recirculación del fluido y evitar sedimentación de líquido.

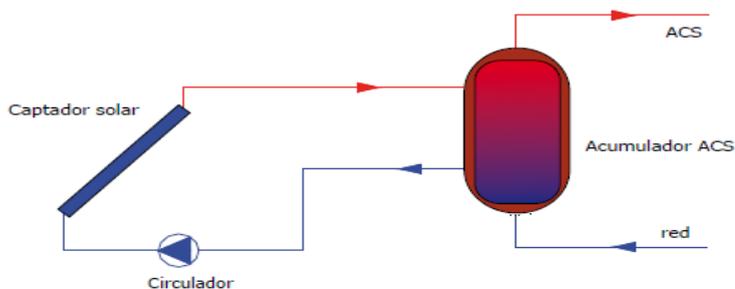


Figura 5: Sistema de Circulación Forzada. [8]

1.3.4. SISTEMAS DE INTERCAMBIO.

SISTEMA DE INTERCAMBIO EXTERIOR.

Este sistema cuenta con un intercambiador de calor, el cual cumple la función de transferir la energía calorífica desde el circuito primario (colector solar) hacia el circuito secundario; cuenta con un termostato diferencial que tiene por función enviar señales on/off hacia la bomba que se encuentra en el circuito primario, el control de la

bomba del circuito primario depende de la temperatura a la cual se encuentra el colector solar, y el depósito.

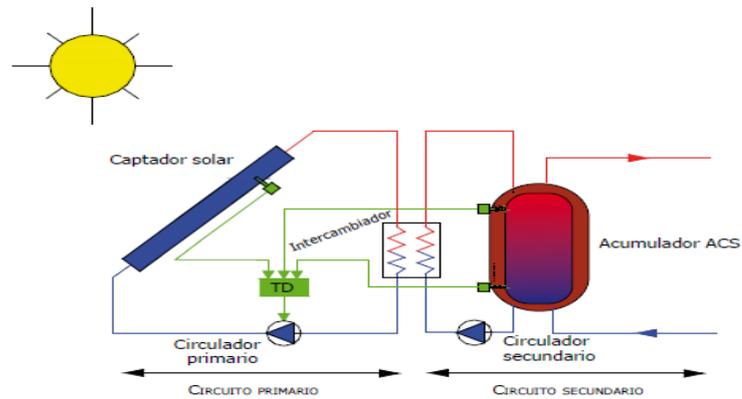


Figura 6: Sistema de Intercambio Exterior. [8]

SISTEMA DE INTERCAMBIO INTERIOR.

La diferencia de este sistema con el anterior es que el intercambiador de calor se encuentra instalado dentro del acumulador, el fluido calo-portador circula por el intercambiador aumentando la temperatura del agua en forma directa.

Cuenta con un control on/off además de sondas de temperatura que están ubicadas a la salida del captador solar y en la parte inferior del acumulador.

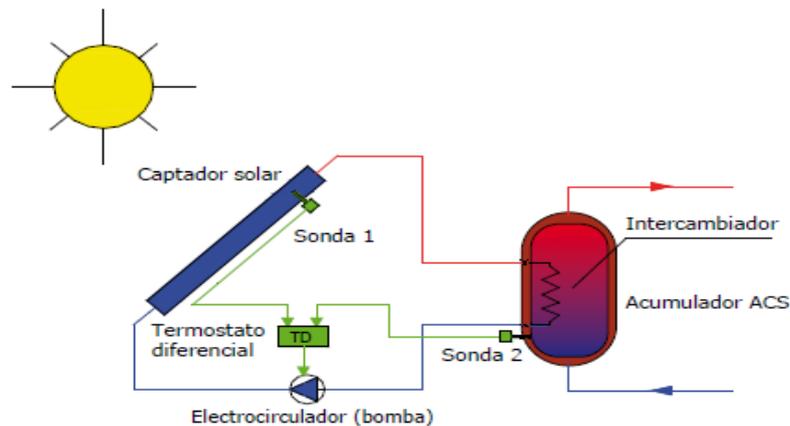


Figura 7: Sistema de circulación con intercambiador interior. [8]

1.3.5. SISTEMA POR ACUMULACIÓN.

SISTEMA DE ACUMULACIÓN CENTRALIZADA.

Este sistema presenta como desventaja la dimensión que debe de tener el área de acumulación, la ventaja del sistema es que al tener en serie los acumuladores la energía ya acumulada está disponible para utilizar como apoyo en caso de ser necesario.

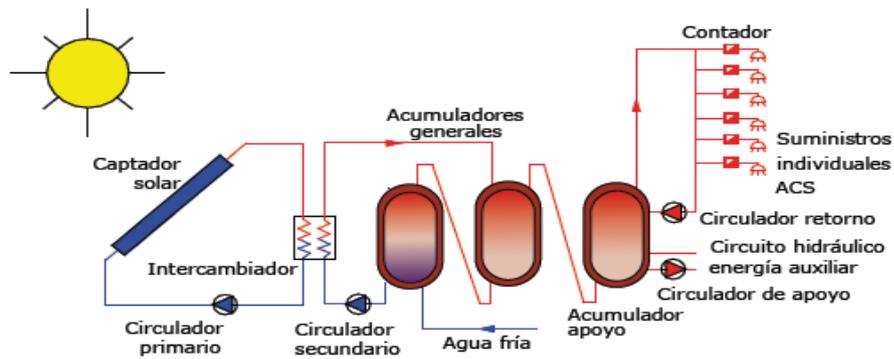


Figura 8: Sistema de conexión de acumulación centralizada. [8]

SISTEMA DE ACUMULACIÓN INDIVIDUAL.

A diferencia del sistema de acumulación centralizado, este sistema requiere de elementos de acumulación individual, cuando el sistema es implementado en pequeñas comunidades; se encuentra incorporado un medidor de energía térmica, para verificar la eficiencia y cuenta con un circuito de apoyo el cual funciona dependiendo de la temperatura a la cual se encuentre el agua en el acumulador.

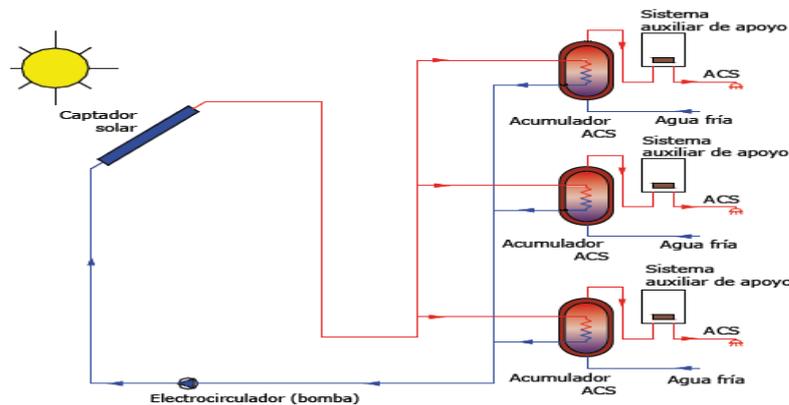


Figura 9: Sistema de acumulación individual. [8]

MÉTODO DIRECTO O SISTEMA POR TERMOSIFÓN.

Este tipo de sistemas de acumulación presenta un rendimiento entre el 80 y el 85%, frente a los métodos de almacenamiento indirecto, no necesita de bombas para la recirculación del fluido y no requiere de sistemas de apoyo como intercambiadores de calor.

MÉTODO INDIRECTO.

Presentan pérdidas por transmisión de energía al intercambiador de calor, a pesar de las pérdidas presenta un rendimiento de más del 70%.

Otra clasificación de los captadores solares de baja temperatura es la siguiente:

- Captador solar plano.
- Captador solar de tubos de vacío.

1.4. CAPTADOR SOLAR.

Un captador solar es un dispositivo capaz de absorber la radiación solar y transmitirla a un fluido para su aprovechamiento energético, utilizados para la obtención de agua caliente sanitaria, climatización de piscinas, etc.

El colector solar plano, por lo general, se utiliza en instalaciones de baja temperatura, se encuentra formado en su interior por tubos de cobre por los cuales circula el fluido calo-portador. [9]



Figura 10: Captador Solar Plano. [9]

1.4.1. PARTES DE UN CAPTADOR SOLAR PLANO.

- Placa absorbente.
- Superficie Transparente.
- Caja Contenedora.
- Aislamiento Térmico.
- Fluido Calo portador.
- Red de tuberías.

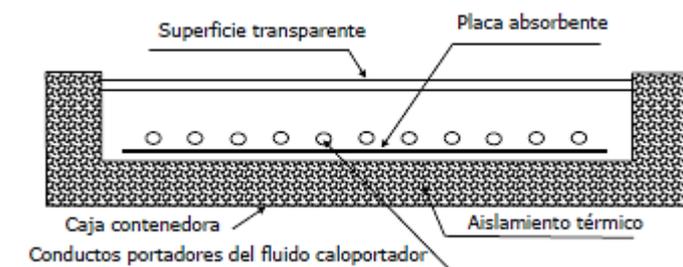


Figura 11: Corte transversal de un Colector Plano. [9]

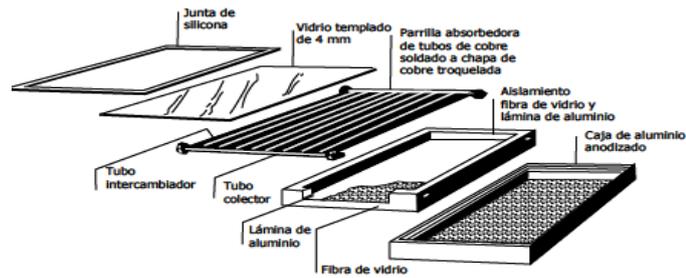


Figura 12: Estructura de un Captador Solar Plano. [9]

1.4.2. CAPTADOR SOLAR DE TUBOS DE VACÍO

Entre los captadores de tubos de vacío, el modelo más utilizado es el Heat Pipe, (Tubo de calor o condensación), se encuentra formado de dos tubos concéntricos dentro de un tubo de vidrio al vacío. Por el interior del tubo circula un fluido que por efecto de la radiación solar se calienta y se evapora, por tanto, asciende al tubo superior donde cede calor al distribuidor que está situado en la parte superior, calentando el fluido que va al intercambiador. Tienen la característica de ocupar un menor espacio físico que los captadores solares planos. [9]

CARACTERÍSTICAS.

Este tipo de captadores presentan las siguientes características:

- Minimiza la influencia de las condiciones climáticas (especialmente indicado para épocas frías). Los tubos de vacío aíslan y evitan la pérdida de calor de conducción, y, por tanto, aumenta la eficiencia del colector.
- Baja emisividad (7%), alta nivel de absorción (90%).
- Aprovecha la luz difusa, permitiendo así que en los días de nubosidad tenue, el equipo siga calentando.
- Pueden alcanzar altas temperaturas en poco tiempo.

1.4.3. MODELO HEAT PIPE.

Los sistemas basados en Heat Pipe son colectores avanzados, absorben el calor solar y lo transfiere a la varilla Heat Pipe, la cual contiene en su interior un fluido

vaporizante que por efecto foto-térmico se evapora, subiendo al bulbo que está en contacto con el agua fría del intercambiador transfiriendo así su energía. [10]

Este fluido evaporizado al enfriarse retoma a su estado líquido cayendo por la acción de la gravedad al extremo inferior de la varilla que se encuentra expuesta a la radiación solar y volviendo a repetirse este proceso. [10]

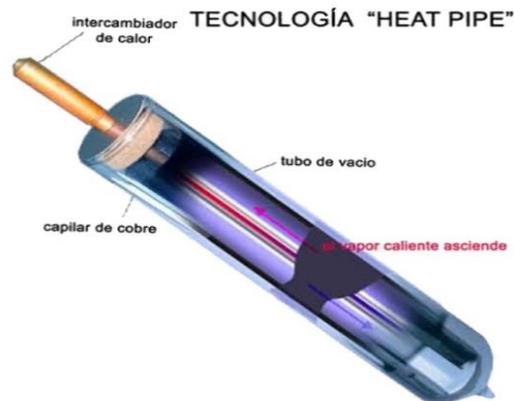


Figura 13: Tubo Heat Pipe. [10]

Para la obtención de ACS también hay varios métodos alternativos que son utilizados frecuentemente, entre los más comunes se encuentran calentamiento por efecto joule y por efecto inductivo.

1.5. MÉTODOS CONVENCIONALES PARA LA OBTENCIÓN DE ACS.

1.5.1. EFECTO JOULE.

Una manera de obtener agua caliente sanitaria es utilizando energía eléctrica, presenta un alto porcentaje de eficiencia en la conversión de energía eléctrica a calor.

La generación de calor se produce mediante la circulación de corriente eléctrica a través de una resistencia, esto se denomina evacuación de calor por efecto joule, el calor se disipa al medio en el que se encuentra.

Dependiendo del fluido que se calienta se utilizan resistencias propias en cada caso, para el calentamiento de agua se utilizan resistencias eléctricas blindadas, debido a que el agua es un conductor eléctrico.

1.5.2. POR EFECTO INDUCTIVO.

El calentamiento inductivo se basa en la inducción de un campo magnético a través de un conductor eléctrico, el funcionamiento del calentamiento inductivo es similar al de un transformador, donde el bobinado de inducción corresponde al primario del transformador y el lugar donde se encuentra envuelto el bobinado de inducción que en este caso por donde circula el fluido a calentar correspondería al núcleo del transformador.

El calor que se genera en un sistema inductivo se da por tres factores, conocidos como, pérdidas por el efecto joule, pérdidas por corrientes parasitas y pérdidas por histéresis.

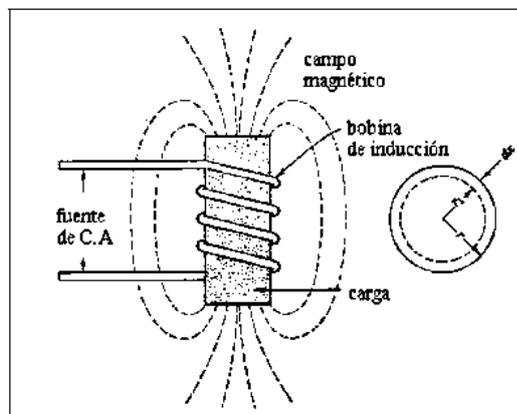


Figura 14: Efecto Inductivo [10]

Otro mecanismo que permite aprovechar la radiación solar es el denominado sistema solar fotovoltaico, que consiste en la transformación de radiación solar en energía eléctrica continua con el uso de paneles fotovoltaicos.

1.6. PANELES FOTOVOLTAICOS

Los paneles fotovoltaicos convierten los fotones de la radiación solar en corriente eléctrica mediante efecto fotoeléctrico, como se observa en la Figura 15, la luz solar provoca una excitación en los electrones del panel solar generando un campo electromagnético interno que induce la circulación de una corriente, esta corriente continua se puede utilizar para producir energía eléctrica limpia, ya que no involucra la quema de minerales fósiles reduciendo notablemente la contaminación ambiental y gases contaminantes que provocan el efecto invernadero. [11]

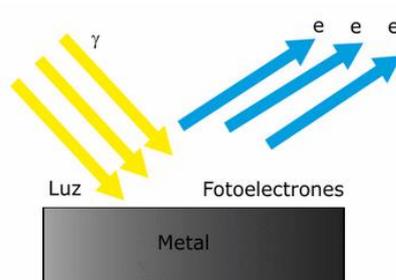


Figura 15: Efecto Fotoeléctrico. [11]

La formulación matemática del efecto fotoeléctrico viene dada por la siguiente ecuación.

$$E=h*f \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde se tiene que

E = Energía recibida de los fotones.

H = Constante de Planck (6.62 X10⁻³⁴ J*s).

F = frecuencia en Hz o en ciclos por segundo. [11]

La potencia que entregan los paneles fotovoltaicos depende de varios parámetros como, la radiación solar incidente, la temperatura de la celda y la resistencia de carga. En general, el fabricante provee datos operacionales limitados del panel, como la tensión en circuito abierto (**Voc**), la corriente de corto circuito (**Isc**), los valores de tensión y corriente para máxima potencia (**Vmp**) e (**Imp**), los coeficientes de temperaturas de tensión a circuito abierto y de corriente de corto circuito. Estos datos están referidos a condiciones estándar de radiación (1000 W/m²) y temperatura de celda (25⁰C). [3]



Figura 16: Paneles solares fotovoltaicos. [11]

1.6.1. TIPOS DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Un elemento importante dentro de un sistema solar fotovoltaico es el panel, cuya principal función es la de captar la luz solar y convertirla en energía eléctrica.

Los paneles solares están constituidos por células solares comprendidas entre 31 y 36, las cuales están conectadas eléctricamente en serie, donde el voltaje de salida dependerá del número de paneles conectados. [11]

Los tipos de paneles solares que actualmente están en el mercado son:

- Paneles solares monocristalinos.
- Paneles solares policristalinos.
- Paneles solares híbridos

PANELES SOLARES MONOCRISTALINOS: proporcionan un rendimiento elevado, alrededor del 20% en la fabricación en serie y un 24% en modelos de laboratorio. Los paneles se encuentran elaborados de silicio puro fundido y dopado con boro, el inconveniente que tienen es su elevado precio. Por su eficiencia energética son las placas más utilizadas. [11]

PANELES SOLARES POLICRISTALINOS: proporcionan un rendimiento entre 12 y 14%, gracias a su diseño cuadrado, hace que se aproveche mejor el espacio entre las células que componen el panel solar, hay que considerar que el coste por panel es menor, ya que se aplica menos silicio en su fabricación. [11]

PANELES SOLARES HÍBRIDOS: combinación entre panel solar fotovoltaico y panel solar térmico. Se trata de refrigerar las células fotovoltaicas por medio de agua, que a su vez, por medio de un acumulador, utilizar como agua caliente sanitaria. [11]

1.6.2. CÉLULAS SOLARES

Las células solares están constituidas por la unión de dos materiales semiconductores de silicio dopado (se agregan impurezas al silicio), uno de tipo N y otro de tipo P obteniendo la unión Diodo o unión P-N.

Al existir incidencia de luz sobre los materiales surge un campo eléctrico desde la zona N, en donde se encuentran los electrones libres, hasta la zona P donde hay la presencia de huecos.



Figura 17: Tipos de células fotovoltaicas. [11]

1.7. SISTEMAS HÍBRIDOS.

Hay dos formas de utilizar la energía solar para la producción de energía:

- La conversión a energía eléctrica (conversión directa de energía solar a energía eléctrica mediante la utilización de sistemas fotovoltaicos). [12]
- La conversión de energía solar térmica (conversión de energía solar en energía térmica utilizando un colector solar). [12]

En la actualidad con el fin de incrementar la eficiencia energética se utilizan los sistemas híbridos que permiten obtener energía eléctrica y energía térmica.

1.7.1. COLECTORES HÍBRIDOS FOTOVOLTAICOS_TÉRMICOS (PV/T).

Un sistema PV/T no solo utiliza la radiación sino también la energía térmica generada por la radiación solar, este tipo de sistema se compone de células fotovoltaicas encapsuladas en un lado de una placa de absorción, mientras que está previsto que el fluido a calentar se encuentra dispuesto en otro parte de la placa de absorción. [12], [13]

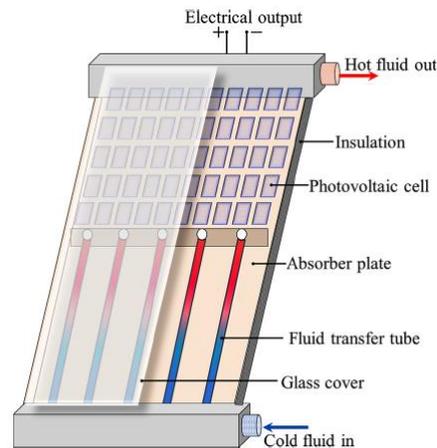


Figura 18: Sistema híbrido fotovoltaico / térmico. [12]

La eficiencia de los paneles fotovoltaicos disminuye al incrementar su temperatura, por lo que se necesita acoplar sistemas de refrigeración, se conseguiría mediante la transferencia de calor desde el sistema fotovoltaico hacia el fluido en un panel termosolar. Tales sistemas se pueden emplear para producción simultánea de electricidad y agua caliente a baja temperatura para fines domésticos. [12]

1.7.2. SISTEMAS AUXILIARES

Cuando los sistemas fotovoltaicos o térmicos no pueden llegar a su máximo rendimiento se hace uso de un sistema auxiliar, generalmente una caldera de gas, o sistemas eléctricos de calentamiento para elevar la temperatura del agua, la cual debe salir del acumulador a una temperatura de 60°C, para evitar la legionella, aunque posteriormente es mezclada con agua fría para bajar la temperatura hasta 45°C., que es la temperatura convencional de consumo.

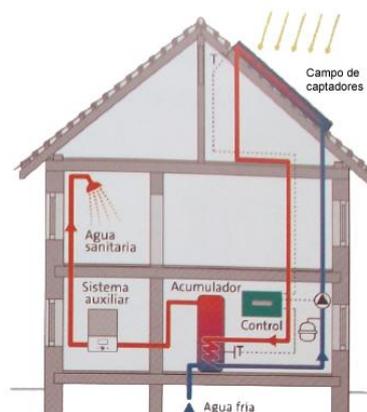


Figura 19: Colector solar con sistema auxiliar. [14]

Todo este proceso está controlado por un dispositivo electrónico central encargado de automatizar y coordinar la circulación del agua del circuito primario cuando es necesaria mayor aportación térmica, controlar la temperatura de los colectores, garantizar la seguridad del sistema.

1.7.3. SISTEMA SOLAR TERMICO (SOLAR/DIESEL)

Este sistema hace uso de la energía solar térmica y la energía- térmica que se obtiene por la quema de combustibles fósiles (diésel) en calderas.

Para el dimensionamiento del sistema de paneles solares se toman en cuenta parámetros como:

- **Radiación Solar en la Zona de Instalación.**
- **Temperatura del agua de la red.** La estimación de la temperatura del agua se la realiza siguiendo el método ESM2 (European Simplified Method – DG XII). [15]

➤ Dado en la siguiente ecuación 2

$$T^{\circ} \text{ agua} = \frac{T^{\circ} \text{ exterior} + T^{\circ} \text{ Exterior media}}{2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde se tiene.

- $T^{\circ} \text{ agua}$ = temperatura promedio mensual del agua de la red.
- $T^{\circ} \text{ exterior}$ = temperatura exterior promedio del mismo mes.
- $T^{\circ} \text{ Exterior media}$ = temperatura exterior promedio anual. [15]

- **Requerimiento de ACS.**
- **Temperatura caliente del ACS.** Estimada en 50°C.

El dimensionamiento se hace en base a la siguiente ecuación

$$S = \frac{m \cdot c \cdot (T_c - T_f)}{\eta \cdot t \cdot I} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde se tiene:

- S = Superficie de los paneles solares. [m^2]
- m = Masa del agua (equivalente a litros de agua por día) [Kg]

- c = Calor específico del agua [Kcal/Kg °C]
- T_c = Temperatura caliente de ACS [°C]
- T_f = Temperatura fría del agua de la red [°C]
- t = Tiempo de uso (un día)
- I = Flujo de la radiación solar global [W/m^2]
- η = Rendimiento de los colectores solares (Para este caso $\eta = 65\%$ colectores planos tipo vacío)

Cabe recalcar que este método de dimensionamiento toma solamente en cuenta valores promedio de los datos climatológicos. [15]

CAPÍTULO 2

DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ACS

En el presente capítulo se realiza el dimensionamiento de los sistemas ACS, que posteriormente se analizarán por medio de simulaciones, sistema termo solar con y sin intercambiador de calor y los sistemas fotovoltaicos sin intercambiador de calor.

Los sistemas se dimensionan en función a las necesidades y requerimientos de ACS en una familia conformada por 4 personas, con un consumo aproximado de $45 \frac{\text{Lts}}{\text{día}}$ por persona a 60°C de temperatura. [18], [29]

2.1. DIMENSIONAMIENTO DEL COLECTOR SOLAR

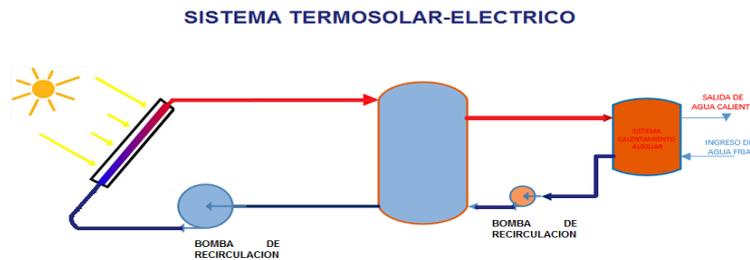


Figura 20: Esquema del sistema termo solar.

Para alcanzar la temperatura deseada en la salida del colector, el dimensionamiento del área se hace en función de la siguiente ecuación.

Demanda de energía térmica:

$$D_i = M_i \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_c - T_f) \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

M_i = Consumo de agua diario [lts/día]

ρ = Densidad del agua [1kg/ltr]

C_p = Calor específico del agua [$4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$]

T_c = Temperatura del agua a la que se desea llegar [°C] [K]

T_f = Temperatura del agua de la red [°C] [K]

El dimensionamiento se hace para una familia con cuatro integrantes, por lo que el consumo de agua caliente es aproximadamente de 180 lts, la temperatura del agua de la red es de 15 °C y a la temperatura que se desea llegar de 60 °C.

La temperatura inicial como la final del agua se toma en la escala de grados Kelvin, por lo que se debe sumar 273 a cada valor para el cálculo correspondiente.

$$T_c = 60 + 273$$

$$T_c = 333 \text{ K}$$

$$T_f = 15 + 273$$

$$T_f = 288 \text{ K}$$

$$D_i = 180 \text{ lts} * 1 \frac{\text{kg}}{\text{ltr}} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (333 \text{ K} - 288 \text{ K})$$

$$D_i = 180 * 4.18 * 45 \text{ kJ}$$

$$D_i = 33858 \text{ kJ}$$

Se calcula la energía útil que produce un captador con la siguiente ecuación.

$$E_u = \eta * H_B$$

Ecuación 5

Dónde:

η = Eficiencia del captador [%]

H_B = Irradiación útil diaria media mensual sobre el plano del captador [$\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$]

Para el dimensionamiento del panel solar se toma el dato de Irradiación del mes más caluroso tomando en cuenta el criterio del mes de la mayor radiación con el fin de evitar sobrecalentamiento del sistema. Por lo que se toma el dato de Irradiación del

mes de septiembre equivalente a $H_B=5400 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \text{ día}}$ con una eficiencia del colector de $\eta=73\%$. [29]

$$E_u=0.73* \frac{5400\text{Wh}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$E_u=3942 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

Superficie del captador

La superficie del captador solar depende de las necesidades de energía o de la demanda de energía calorífica y se puede calcular de la siguiente manera:

$$S_c = \frac{D_i \text{ [MJ]}}{0.85 * H_B * \eta \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right]} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$S_c = \frac{33.858 \text{ [MJ]}}{0.85 * 19.44 * 0.73 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right]}$$

$$S_c=2.801\text{m}^2$$

2.2. DIMENSIONAMIENTO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Para el caso del sistema fotovoltaico el cálculo del número de paneles se lo realiza de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$N_T = \frac{E_{mFV} * 1000}{P_{FV} * G_{dm} * PR} \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:

E_{mFV} = Energía total que deben aportar los paneles fotovoltaicos. [kWh]

P_{FV} = Potencia de los paneles fotovoltaicos. [W]

G_{dm} = Radiación media diaria. [$G_{dm} = 5.40 \frac{kWh}{(m^2)}$]

PR = Performance ratio o rendimiento energético de la instalación. [kWH]

El valor del parámetro $E_{m_{FV}}$ se toma de acuerdo a la demanda de energía térmica hallada en el caso del colector solar.

$$E_{m_{FV}} = 33858 \text{ kJ}$$

Energía requerida por el auxiliar 6.0373×10^{-6}

Para el cálculo se requiere cambiar el valor del parámetro $E_{m_{FV}}$ de [kJ] a [kWh]

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$$

$$x = 33858 \text{ kJ}$$

$$x = \frac{33858 \text{ kJ} * 1 \text{ kWh}}{3600 \text{ kJ}}$$

$$x = 9.405 \text{ kWh}$$

$$N_T = \frac{9.405 * 1000 \text{ [kWh]}}{100.3 \text{ [W]} * 5.4 * 0.8 \text{ [kWh]}}$$

$$N_T = \frac{9405}{433.296}$$

$$N_T = 21.7$$

$$N_T \approx 22 \text{ Paneles}$$

CAPÍTULO 3.

SIMULACIONES Y ANALISIS DE LOS SISTEMAS ACS

Para realizar la simulación de los sistemas de ACS, se utiliza el software “*TRNSYS studio*”, este software permite hacer uso de los datos climatológicos de una zona específica a estudiar, dichos datos utilizados son radiación solar, velocidad del viento, temperatura ambiente, etc. Con estas y otras variables climatológicas se puede analizar la respuesta de un sistema en el tema de eficiencia, pérdidas que se podrían presentar, requerimientos de potencia por parte de un sistema entre otros factores, y con los resultados se puede generar un análisis eficiencia-económico para determinar la factibilidad del sistema propuesto.

3.1. ESCENARIO 1. SISTEMA TERMO SOLAR CON RECIRCULACIÓN FORZADA.

En el primer escenario se simula un sistema termo-solar con circulación forzada el cual está compuesto por un colector solar plano dimensionado para una área de captación de aproximadamente 3.00 m^2 según cálculos previos, cuenta con un tanque de almacenamiento de 0.2 m^3 , el volumen del tanque se toma en base al consumo de ACS que tiene una familia de cuatro integrantes, cuenta con un sistema de control el cual monitorea la temperatura entre la salida del colector y la salida del tanque de almacenamiento, el sistema termo solar tiene el respaldo de un sistema auxiliar.

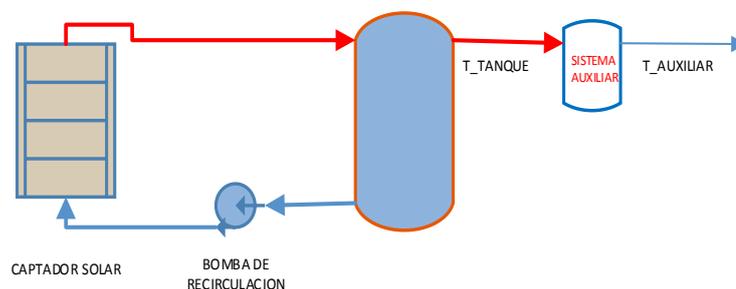


Figura 21: Sistema Termo solar con recirculación forzada.

En la Figura 22 se puede observar el aporte térmico entre el sistema termo-solar y el sistema auxiliar durante un año, conjuntamente con la radiación anual que perviene al sistema.

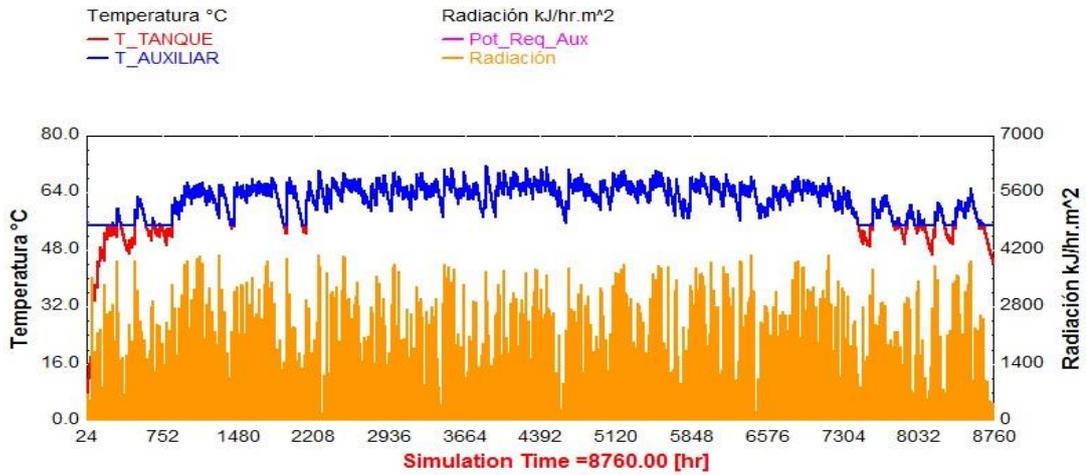


Figura 22: Aporte de temperatura del sistema termo solar vs Sistema Auxiliar.

3.2. ESCENARIO 2: SISTEMA TERMO SOLAR CON RECIRCULACIÓN FORZADA E INTERCAMBIADOR DE CALOR.

El siguiente escenario tiene similares características al anterior, con la diferencia que entre el circuito primario y el secundario existe un intercambiador de calor, el cual tiene una eficiencia menor a 1, esto provoca una disminución de temperatura en el agua de entre 4 y 5 grados centígrados, requiriendo mayor potencia el sistema auxiliar para llegar a la temperatura consigna del agua.

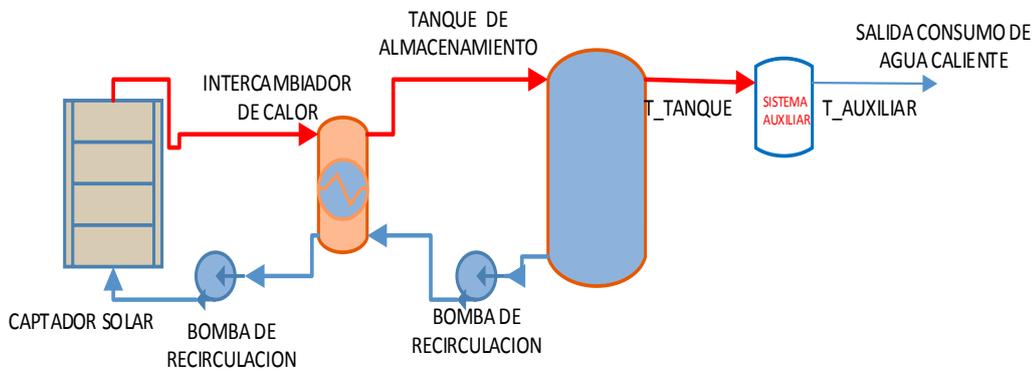


Figura 23: Sistema Termo solar con recirculación forzada e intercambiador de calor

Como resultado este sistema tiende a llegar a una temperatura máxima de 65°C y cuando el índice de radiación es menor, se alcanza temperaturas de hasta 35°C, donde el requerimiento de energía por parte del sistema auxiliar aumenta.

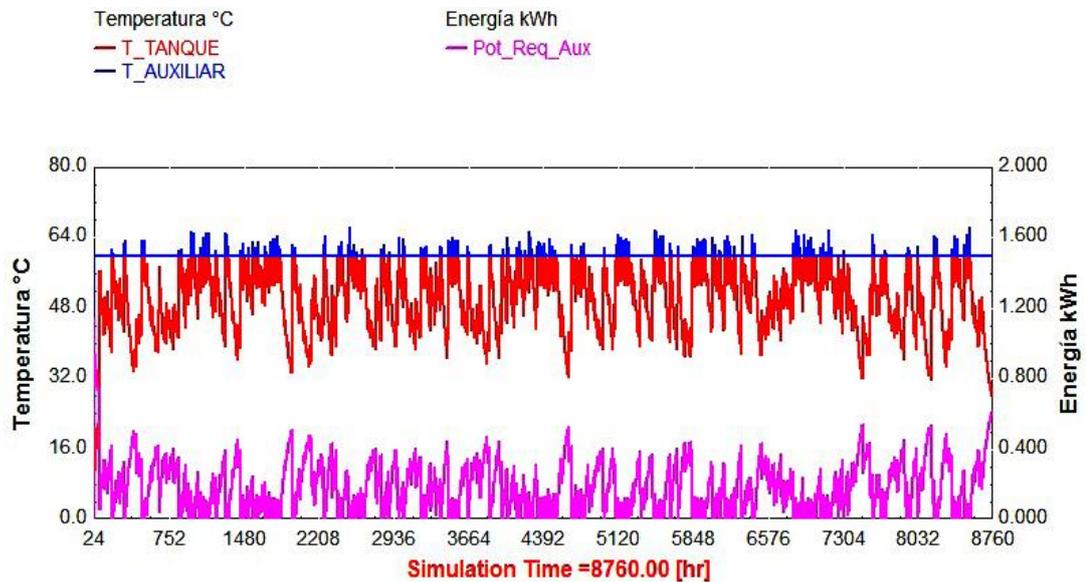


Figura 24: Aporte de temperatura del sistema Termo solar vs Sistema Auxiliar con intercambiador de calor.

3.3. ESCENARIO 3: SISTEMA FOTOVOLTAICO CON RECIRCULACIÓN FORZADA.

El siguiente escenario se encuentra modelado utilizando paneles fotovoltaicos, el número de paneles se dimensionó en función de la demanda de energía térmica y el sistema se diseñó de tal forma que no genere un sobre calentamiento, la estructura del diseño se muestra en la figura 25, el volumen del tanque de almacenamiento es de 0.2 m³, de igual forma cuenta con un sistema de control, el cual monitorea la temperatura entre la salida del sistema fotovoltaico y la del tanque de almacenamiento, este sistema cuenta con el apoyo de un sistema auxiliar.

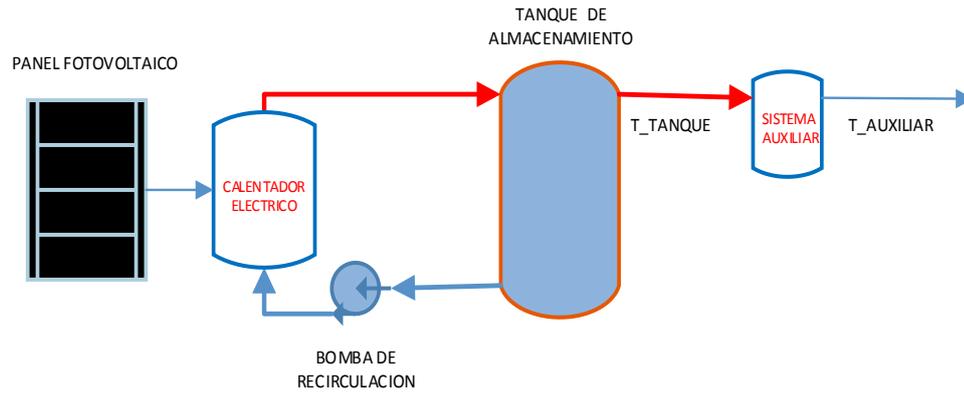


Figura 25: Sistema Fotovoltaico con recirculación forzada.

En la Figura 26 se observa el aporte térmico generado por el sistema fotovoltaico y el sistema auxiliar, con el dimensionamiento de 22 paneles en un arreglo de 2 x 11, en donde se puede observar que la temperatura a la que llega este sistema es de alrededor 80°C. Generando un sobrecalentamiento en el sistema.

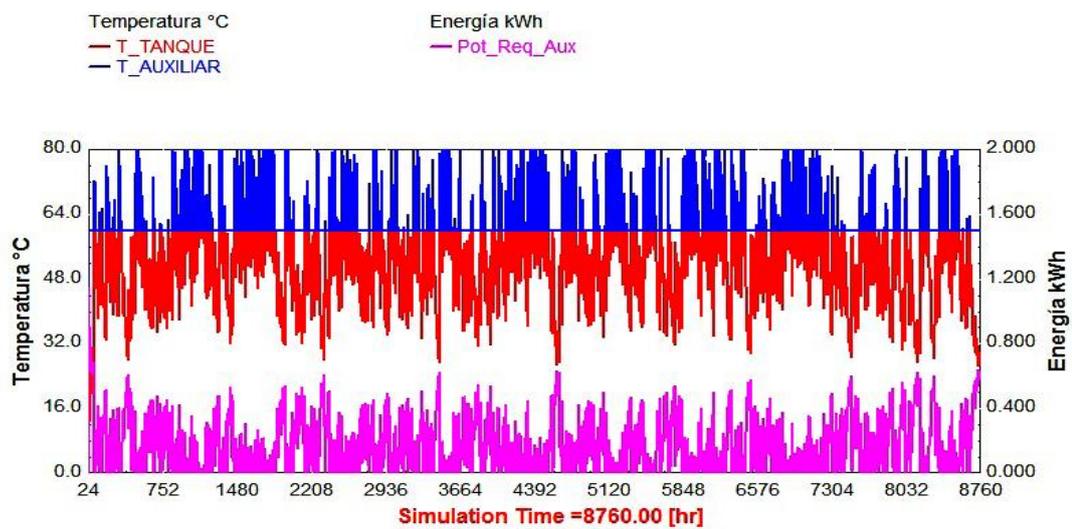


Figura 26: Aporte térmico entre el sistema Fotovoltaico y el Sistema Auxiliar.

Para llegar a la temperatura de 60 °C se realiza la simulacion con 12 paneles, alcanzando las temperaturas que se observan en la figura 27.

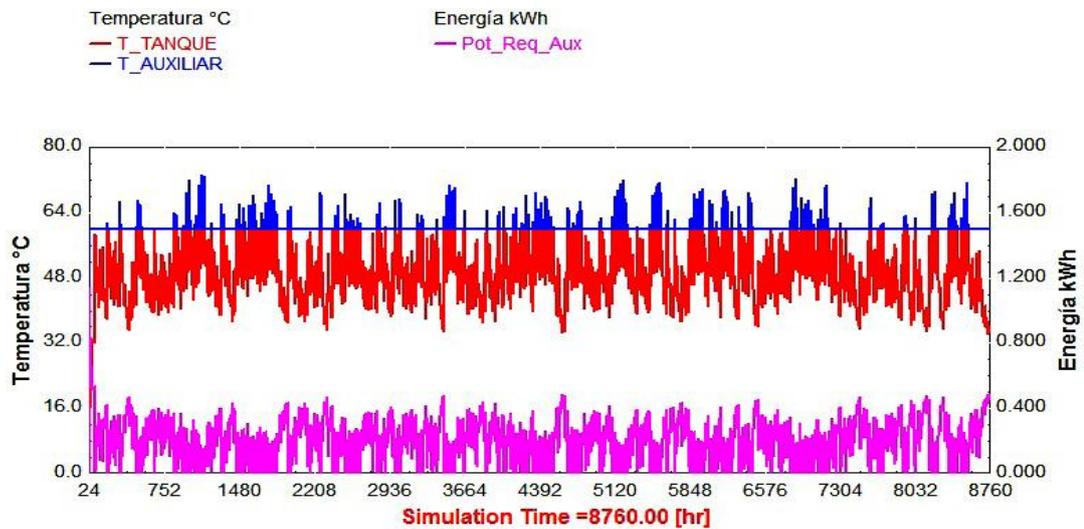


Figura 27 Aporte térmico entre el sistema Fotovoltaico y el Sistema Auxiliar.

3.4. CALCULO DE ENERGIA AUXILIAR REQUERIDA POR CADA SISTEMA

La cantidad de energía que requieren los sistemas auxiliares se calculan en función de las simulaciones realizadas, en donde obtenemos la cantidad de energía mensual que el sistema auxiliar aporta con el objetivo de alcanzar una temperatura de salida de 60°C.

3.4.1. SISTEMAS AUXILIARES DE CALENTAMIENTO DE AGUA

Se consideran dos tipos de sistema auxiliares para el calentamiento de agua, uno basado en la quema de combustible, para este caso el combustible utilizado es GLP, y el otro sistema auxiliar que utiliza electricidad y por medio del “Efecto Joule”, consigue calentar el agua.

3.4.2. SISTEMA AUXILIAR A (GLP)

Para encontrar la cantidad de combustible (GLP) que se necesita para alcanzar la temperatura del agua es fundamental conocer el Poder Calórico del GLP.

Según recopilación de datos obtenidos el poder calorífico del GLP de uso doméstico se halla en el valor aproximado de:

$$H_C=11900 \frac{\text{KCal}}{\text{Kg}} \quad [16]$$

El valor del Poder calorífico en kJ se obtiene de la siguiente manera

$$1 \text{ kCal} = 4.184 \text{ kJ}$$

$$11900 \text{ kCal} = N$$

$$N = \frac{4.184 \text{ kJ} * 11900 \text{ kCal}}{1 \text{ kCal}}$$

$$N = 49789 \text{ kJ}$$

Donde el poder calorífico del GLP es

$$H_C = 49789 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

3.4.3. SISTEMA AUXILIAR ELECTRICO.

Para el requerimiento de energía que debería de aportar el sistema eléctrico durante un año, se realiza la sumatoria de la potencia en el transcurso de un año obtenida de las simulaciones, esta es la energía eléctrica que requiere el sistema auxiliar eléctrico anual mente.

3.4.4. SISTEMA TERMOSOLAR

Con base en las simulaciones realizadas para cada uno de los sistemas se obtienen datos de potencia requerida por el sistema auxiliar para alcanzar la temperatura consigna en el agua de 60°C.

3.4.5. SISTEMA TERMOSOLAR CON RECIRCULACIÓN FORZADA SIN INTERCAMBIADOR DE CALOR.

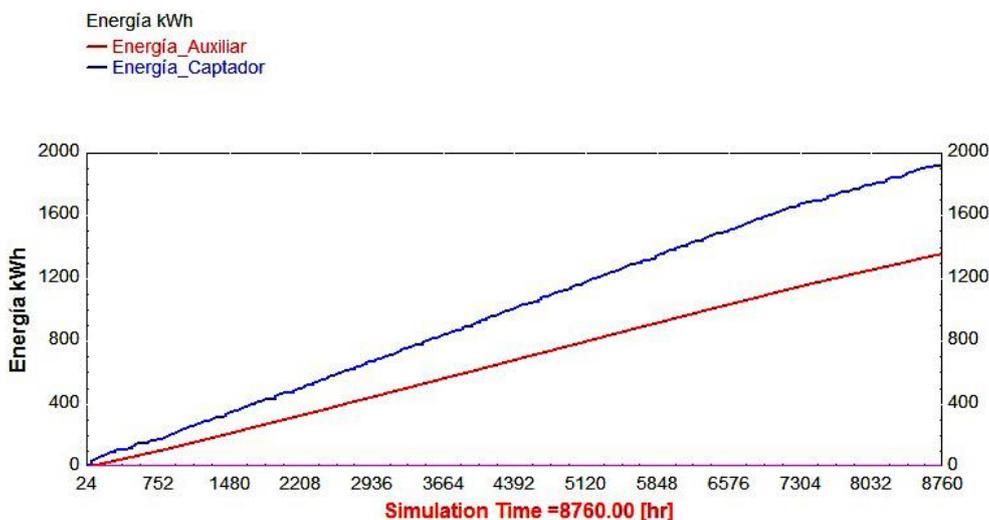


Figura 28: Energía a la salida del Tanque almacenador vs Energía requerida del sistema auxiliar durante un año.

La cantidad de energía requerida por el sistema auxiliar durante un año, será aproximadamente de 1361 kWh, dichos datos son tomados de la simulación del sistema la cual se puede observar en la Figura 28.

Con los datos obtenidos se calcula la energía por día que consumiría el sistema auxiliar, por lo que el dato obtenido se divide para 365 días correspondientes a un año.

$$E_{\text{anual}} = \frac{1361 \text{ kWh}}{365 \text{ días}}$$

Obteniendo que los requerimientos diarios promedio sería de:

$$E_{\text{diaria}} = 3.73 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

El cálculo de la cantidad de combustible necesario se lo realiza en base a la siguiente ecuación.

$$E_{\text{auxiliar}} = H_C * m_c \quad \text{Ecuación 8}$$

$E_{auxiliar}$ = Energía requerida para alcanzar los 60 °C.

H_C = Poder calorífico del GLP.

m_c = Masa de Combustible

La energía requerida por el sistema auxiliar en este caso es de

$$E_{diaria} = 13428 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}$$

Aplicando la fórmula para encontrar la cantidad de combustible necesario tenemos:

$$E_{auxiliar} = H_C * m_c$$

$$13428 \frac{\text{kJ}}{\text{día}} = 49789 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * m_c$$

$$m_c = \frac{13428 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}}{49789 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$m_c = 0.2696 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

La cantidad de combustible calculado se divide para la eficiencia del sistema de gas a utilizar, la eficiencia se calcula dividiendo la potencia útil para el consumo nominal dando el siguiente resultado. [17]

$$\eta = \frac{\text{potencia útil}}{\text{consumo nominal}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\eta = \frac{\text{potencia útil}}{\text{consumo nominal}} = \frac{19.3\text{kW}}{21.8\text{kW}} = 0.88$$

El consumo de combustible total sería:

$$m_c = \frac{0.2696}{0.88} = 0.3064 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Con la cantidad de combustible que se consume diariamente se puede hacer el cálculo del gasto monetario que representaría para el usuario del sistema.

3.4.6. SISTEMA TERMOSOLAR CON INTERCAMBIADOR DE CALOR.

En la Figura 30 se puede observar las gráficas del aporte energético del sistema termo solar con un intercambiador de calor y su sistema auxiliar, necesarios para alcanzar la temperatura consigna de 60 °C, el tiempo de simulación es de un año.

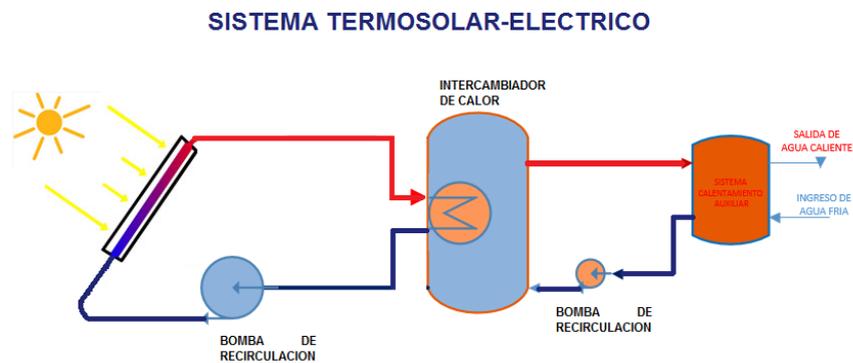


Figura 29: Sistema Termo solar con intercambiador de calor y sistema Auxiliar.

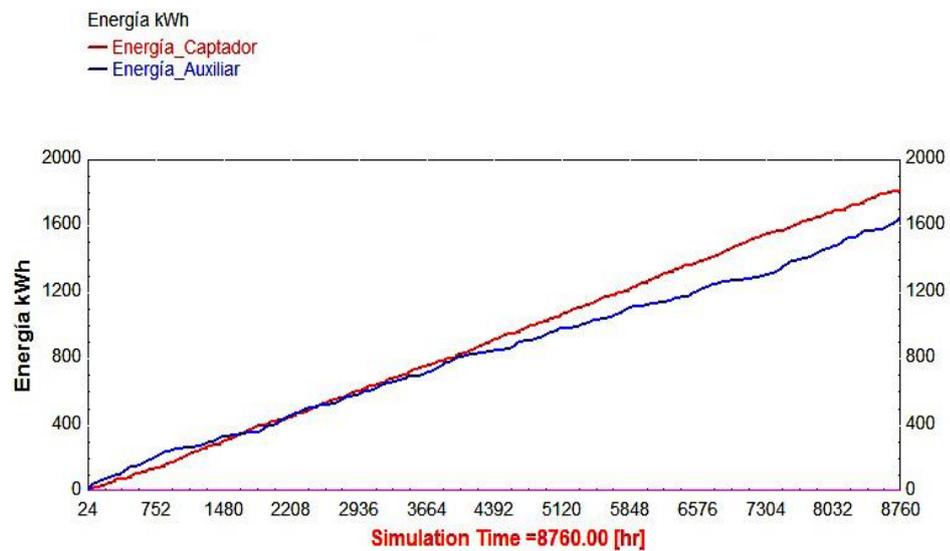


Figura 30: Energía de salida del colector vs energía requerida por el sistema auxiliar durante un año, con intercambiador de calor.

En el caso del sistema termo solar con intercambiador de calor, la energía que el sistema auxiliar requiere en el transcurso de un año es de 1652 kWh, este resultado se dividiría para 365 días, para de esta manera obtener el promedio del consumo diario del sistema auxiliar:

$$E_{\text{mensual}} = \frac{1652 \text{ kWh}}{365 \text{ días}}$$

Obteniendo diariamente una demanda de:

$$E_{\text{diaria}} = 4.53 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

Con este dato calculamos la cantidad de combustible suficiente para alcanzar una temperatura de 60 °C.

$$E_{\text{auxiliar}} = H_C * m_c$$

E_{auxiliar} = Energía requerida para alcanzar los 60 °C.

H_C = Poder calorífico del GLP.

m_c = Masa de Combustible

La energía requerida por el sistema auxiliar en este caso es de

$$16308 \frac{\text{kJ}}{\text{día}} = 49789 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * m_c$$

$$m_c = \frac{16308 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}}{49789 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$m_c = 0.3275 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Requerimiento de combustible en función de la eficiencia del sistema auxiliar.

$$m_c = \frac{0.3275}{0.88} = m_c = 0.3721 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

3.4.7. SISTEMA FOTOVOLTAICO

Los datos de energía requerida por el sistema auxiliar y el aporte del panel fotovoltaico son obtenidos de las respectivas simulaciones, dando como resultado la siguiente gráfica.

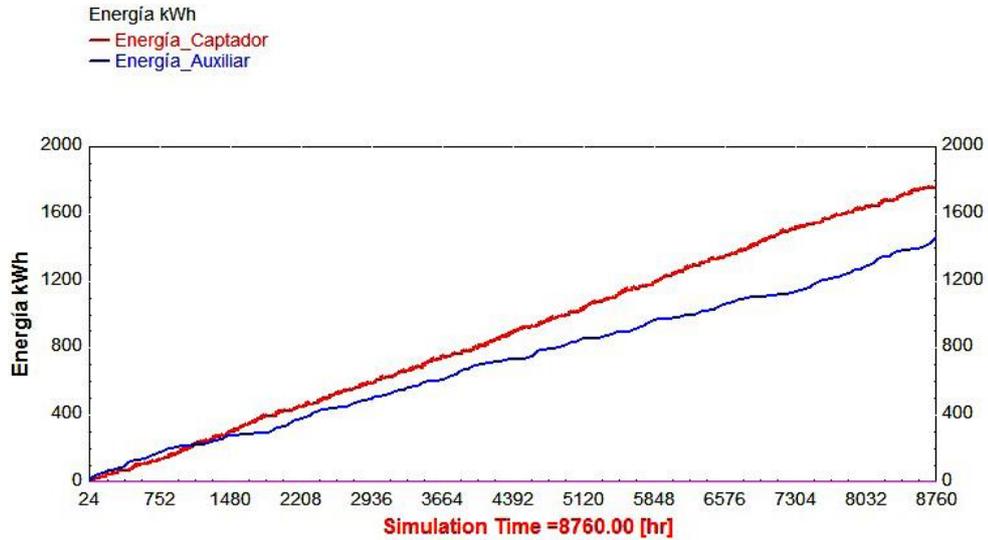


Figura 31: Aporte de energía del sistema foto voltaico vs Requerimiento de energía del sistema auxiliar

En el caso del sistema fotovoltaico el requerimiento de energía por parte del sistema auxiliar es de 1512 kWh anualmente.

$$E_{\text{diaria}} = 4.14 \frac{\text{kWh}}{\text{día}}$$

$$E_{\text{auxiliar}} = H_C * m_c$$

E_{auxiliar} = Energía requerida para alcanzar los 60 °C.

H_C = Poder calorífico del GLP.

m_c = Cantidad de Combustible

La energía requerida por el sistema auxiliar en este caso es de

$$14904 \frac{\text{kJ}}{\text{día}} = 49789 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}} * m_c$$

$$m_c = \frac{14904 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}}{49789 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$m_c = 0.299 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Requerimiento del combustible tomando en consideración la eficiencia del sistema auxiliar.

$$m_c = \frac{0.299}{0.88} \quad m_c = 0.339 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

3.4.8. APOORTE ENERGÉTICO DE LOS SISTEMAS.

En la tabla 1 se observan los valores de aporte y requerimientos de energía anual de los sistemas termo-solare eléctrico y fotovoltaico.

Tabla 1 Aporte y requerimiento de potencia

APOORTE Y REQUERIMIENTO ANUAL DE ENERGÍA			
Tipo de sistema	Sistema Solar	Sistema Auxiliar	Aporte sistema
Convencional Eléctrico	-----	-----	3813 kWh
Convencional GLP	-----	-----	3900 kWh
Solar Térmico sin intercambiador de calor	1959 kWh	1361 kWh	3320 kWh
Solar Térmico con intercambiador de calor	1815 kWh	1652 kWh	3467 kWh
Fotovoltaico	1734 kWh	1512 kWh	3246 kWh

➤ **Sistema Termo Solar con recirculación forzada**

En la figura 32 se muestra el porcentaje anual de aporte de energía por parte del sistema solar y el requerimiento por parte del sistema auxiliar



Figura 32: Aporte del Sistema térmico Vs Sistema Auxiliar.

➤ **Sistema Termo Solar con recirculación forzada e intercambiador de calor.**

El sistema termo solar con intercambiador de calor presenta pérdidas en comparación al sistema sin intercambiador de calor, el motivo de esta disminución de aporte térmico se da por pérdidas en la transferencia de calor, por parte del intercambiador de calor hacia el fluido, como consecuencia el sistema auxiliar requiere un mayor aporte de energía con respecto al sistema anterior.



Figura 33: Sistema Termo Solar con intercambiador de calor vs Sistema Auxiliar.

➤ **Sistema Fotovoltaico.**

Del dimensionamiento del sistema fotovoltaico que en este caso da 22 paneles fotovoltaicos, los cuales se simulan en un arreglo de 2x11, se consigue llegar a la temperatura consigna.



Figura 34: Aporte térmico sistema fotovoltaico Vs sistema Auxiliar

En la tabla 2 se muestra las principales características de los sistemas híbridos analizados, tomando como referencia esta información se comprueba la eficiencia que presenta el sistema solar térmico sin intercambiador en relación a los demás sistemas analizados. De este análisis se concluye que la mejor opción para la implementación es el sistema solar térmico sin intercambiador de calor.

TABLA 2 RESUMEN DE SISTEMAS ANALIZADOS

SISTEMA	Consumo de energía eléctrica anual sistema auxiliar en kWh	Consumo de GLP anual Sistema auxiliar en kg	Costo de energía eléctrica anual \$ 0.093 el kWh	Costo de combustible (GLP) anual \$ 15 los 15 kg GLP
Solar Térmico sin intercambiador de calor	1361 kWh	111.83 kg	\$ 126.57	\$ 111.83
Solar Térmico con intercambiador de calor	1652 kWh	135.81 kg	\$ 153.63	\$ 135.81
Solar fotovoltaico	1512 kWh	123.735 kg	\$ 140.61	\$ 123.73

CAPÍTULO 4.

ANÁLISIS ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Para realizar el análisis económico debemos tener en cuenta el gasto monetario que representaría cubrir la demanda de agua caliente dentro de un hogar, si se hiciera uso de un sistema de calentamiento de agua solamente a gas (GLP) o energía eléctrica.

Teniendo en cuenta la demanda diaria de energía calorífica obtenida en base a la ecuación:

$$D_i = M_i \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_c - T_f)$$

$$D_i = 33858 \text{ kJ}$$

4.1. COSTOS CON SISTEMA A GAS

Obtenemos la cantidad de GLP, sabiendo el valor del Poder Calorífico

$$H_c = 49789 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$D_i = H_c \cdot C_c$$

Donde C_c es la cantidad de combustible que se requiere.

$$C_c = \frac{33858 \text{ kJ}}{49789 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$C_c = 0.680 \text{ kg}$$

Requerimiento de combustible en función de la eficiencia del sistema.

$$C_c = \frac{0.680}{0.88} = 0.7727 \text{ kg}$$

Obteniendo una cantidad anual R_{comb} de combustible

$$R_{\text{comb}} = 0.7727 \text{ kg} \cdot 365 \text{ días}$$

$$R_{\text{comb}}=282.035 \text{ Kg}$$

$$\#_{\text{bombonas}}=\frac{282.035 \text{ Kg}}{15\text{Kg}}$$

$$\#_{\text{bombonas}}=18.802$$

$$\#_{\text{bombonas}}\approx 19 \text{ bombonas}$$

Esta cantidad de combustible es el equivalente de 19 bombonas de gas doméstico (GLP) de 15 kg cada uno.

El resultado obtenido se justifica en función de que el sistema se ha dimensionado para el abastecimiento de ACS a una temperatura superior a la de confort la cual en este caso es de 60°C.

4.1.1. COSTO DEL COMBUSTIBLE ACTUAL (CON SUBSIDIO)

Tomando el valor de la bombona de gas actualmente que es de \$1.60, tenemos el gasto que representa tener agua caliente anualmente en una vivienda.

$$\text{Valor}_{\text{anual}}=19 \text{ bombonas} * \$1.60$$

$$\text{Valor}_{\text{anual}}=\$ 30.4$$

4.1.2. COSTO DEL COMBUSTIBLE PROYECTADO PARA 2017 (SIN SUBSIDIO)

El valor de la bombona de gas según ha decretado el gobierno nacional incrementara debido a la eliminación del subsidio que se dará para el año 2017 [23], [24].

Quedando aproximadamente en un precio de \$15, dependiendo de la fluctuación de los precios internacionales de GLP.

$$\text{Valor}_{\text{anual}}=19 \text{ bombonas} * \$15$$

$$\text{Valor}_{\text{anual}}=\$ 285$$

4.2. COSTOS CON SISTEMA ELECTRICO CONVENCIONAL.

Los costos de energía eléctrica para cubrir la demanda de ACS se calculan en base a los requerimientos de energía anual utilizada en el calentamiento de los 200 lts diarios en una familia.

La energía calorífica requerida diariamente es:

$$D_i = M_i \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_c - T_f)$$

$$D_i = 33858 \text{ kJ}$$

$$\text{Energía}_{\text{anual}} = 33858 \frac{\text{kJ}}{\text{día}} \cdot 365 \text{ días}$$

$$\text{Energía}_{\text{anual}} = 12358170 \text{ kJ}$$

Para calcular el precio de la energía calorífica necesaria anualmente, se debe transformar energía calorífica a energía eléctrica.

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$$

$$\text{Energía}_{\text{kWh}} = 12358170 \text{ kJ}$$

$$\text{Energía}_{\text{kWh}} = \frac{12358170 \text{ kJ} \cdot 1 \text{ kWh}}{3600 \text{ kJ}}$$

$$\text{Energía}_{\text{kWh}} = 3432.825 \text{ kWh}$$

Tomando en cuenta la eficiencia de un sistema eléctrico de calentamiento la cual es de 0.9 se obtiene el requerimiento energético total del sistema. [18]

$$\text{Energía}_{\text{kWh}} = \frac{3432.825}{0.9} = 3814,25 \text{ kWh}$$

Con el valor de energía eléctrica necesaria, podemos obtener el costo de la misma, sabiendo que el precio del *kWh* está alrededor de \$ 0.0933. [25]

$$\text{Costo}_{\text{Energía}} = 3814,25 \text{ kWh} \cdot \$ 0.0933$$

$$\text{Costo}_{\text{Energía}} = \$ 355,87$$

Costo de la energía con la tarifa dignidad.

$$\text{Costo}_{\text{Energía}} = 3814,25 \text{ kWh} * \$0.04$$

$$\text{Costo}_{\text{Energía}} = \$ 152,57$$

4.3. COSTOS DE ENERGÍA CON SISTEMA HIBRIDO SOLAR TERMICO ELECTRICO

4.3.1. COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (SIN SUBSIDIO)

En el caso del sistema híbrido solar térmico - eléctrico se requiere de 1361 kWh. .

Con el valor de energía eléctrica necesaria, podemos obtener el costo de la misma, sabiendo que el precio del kWh está alrededor de \$ 0.0933. [25]

$$\text{Costo}_{\text{Energía}} = 1361 \text{ kWh} * \$0.0933$$

$$\text{Costo}_{\text{Energía}} = \$ 126.57$$

4.3.2. COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA (CON SUBSIDIO)

Costo de la energía con la tarifa dignidad.

$$\text{Costo}_{\text{Energía}} = 1361 \text{ kWh} * \$0.04$$

$$\text{Costo}_{\text{Energía}} = \$ 54.44$$

4.3.3. COSTO DE COMBUSTIBLE (GLP)

Para determinar la cantidad de combustible requerido por el sistema auxiliar en el caso del sistema termo solar con recirculación forzada se realiza en base a la demanda que se requiere anualmente la misma que es: 1361 kWh o expresado de otra forma 4899600 kJ.

$$E_{\text{auxiliar}} = H_C * m_c$$

$E_{auxiliar}$ = Energía requerida para alcanzar los 60 °C.

H_c = Poder calorífico del GLP.

m_c = Masa de Combustible

La energía requerida por el sistema auxiliar en este caso es de 4899600 kJ.

$$m_c = \frac{4899600 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}}{49789 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$m_c = 98.40 \text{ kg GLP / Año}$$

Requerimiento del combustible tomando en consideración la eficiencia del sistema auxiliar.

$$m_c = \frac{98.40}{0.88} \frac{\text{kg}}{\text{Año}}$$

$$m_c = 111.81 \frac{\text{kg}}{\text{Año}}$$

El resultado se divide para 15Kg correspondiente al peso de una bombona de gas, dando el número de bombonas que se requiere al año.

$$m_c = \frac{111.81}{15} = 7.45 \text{ bombonas de gas} \approx 7 \text{ bombonas}$$

Costo de combustible del sistema auxiliar con subsidio

$$\text{Costo}_{\text{combustible}} = 7 * 1.60 = \$ 11.20$$

Costo de combustible del sistema auxiliar sin subsidio

$$\text{Costo}_{\text{combustible}} = 7 * 15 = \$ 105$$

En la tabla 3 se muestra la comparación en costo de energía a pagar anualmente, utilizando sistemas de obtención de ACS convencionales frente a un sistema híbrido solar térmico eléctrico y a GLP.

Tabla 3: Comparación de Costos

	SISTEMA CONVENCIONAL GAS	SISTEMA CONVENCIONAL ELECTRICO
(CON SUBSIDIO)	\$ 30.4	\$152.57
(SIN SUBSIDIO)	\$ 285	\$ 355,87
SISTEMA HIBRIDO SOLAR TERMICO		
	AUXILIAR A GLP	AUXILIAR ELECTRICO
(CON SUBSIDIO)	\$ 11.20	\$54.44
(SIN SUBSIDIO)	\$ 105	\$126.57

4.4. REDUCCION DE EMISIONES DE CO₂

El estudio también tiene como finalidad reducir las emisiones de CO₂ generadas por el uso de combustibles como GLP o electricidad utilizadas en la obtención de ACS.

Para determinar la cantidad de CO₂ producido por los sistemas eléctricos o a GLP, debe aplicarse un factor de emisión dado específicamente para cada país y tipo de combustible.

4.4.1. SISTEMA ELECTRICO CONVENCIONAL

Para el caso del Ecuador el Factor de conversión para emisiones de CO₂ por kWh eléctrico, es de 214 g CO₂/ kWh. [36]

La generación de CO₂ producida por un sistema eléctrico se calcula con la siguiente ecuación:

Emisiones de CO₂ = Factor de Emisión de CO₂ x Energía consumida anualmente.

$$\text{Emisión de CO}_2 = 214 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kWh}} * \frac{3432.82 \text{ kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{Emisión de CO}_2 = 734.62 \text{ kg CO}_2 / \text{año}$$

4.4.2. SISITEMA A GAS (GLP)

Para determinar la producción de CO₂ por parte del GLP se toma como dato el siguiente factor de conversión **2,96 kg CO₂/kg** [34]. De igual manera se debe obtener el valor del poder calorífico de GLP para hallar la cantidad de combustible necesaria.

El poder calorífico del GLP (H_C) es:

$$H_C = 11900 \frac{\text{kCal}}{\text{kg}} \quad [13]$$

$$H_C = 49789,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

La energía requerida por un sistema de GLP depende de la demanda de energía anual y la eficiencia del sistema GLP.

$$\text{Energía}_{\text{requerida}} = \frac{\text{Demanda}_{\text{anual}}}{\eta_{\text{sistema GLP}}}$$

La eficiencia de un sistema a GLP es de aproximadamente 0.88 [16].

$$\text{Energía}_{\text{requerida}} = \frac{12358170 \text{ kJ}}{0.88} = 14043375 \text{ kJ}$$

Y la cantidad necesaria de GLP es:

$$\text{masa}_{\text{GLP}} = \frac{\text{Energía}_{\text{requerida}}}{\text{Poder}_{\text{calorifico}}}$$

$$\text{masa}_{\text{GLP}} = \frac{14043375 \text{ kJ}}{49789,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 282.05 \text{ kg}$$

La producción de CO₂ por parte de un sistema a GLP se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Emisión de CO}_2 = 2.96 \left(\text{kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{kg de GLP}} \right) * \text{kg de GLP}$$

$$\text{Emisión de CO}_2 = 2.96 \left(\text{Kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{kg de GLP}} \right) * 282.05 \text{ de GLP}$$

Emisión de CO₂=834.89 kg de CO₂ año.

4.4.3. SISTEMA HIBRIDO CON AUXILIAR ELECTRICO

Para el caso del sistema hibrido se realiza el cálculo de emisiones de CO₂ que se generan por parte del sistema auxiliar, tomando en cuenta solamente el requerimiento anual del mismo.

$$\text{Energía}_{\text{requerida}} = \frac{1361 \text{ kWh}}{0.9} = 1512.22 \text{ kWh}$$

$$\text{Emisión de CO}_2 = 214 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kWh}} * \frac{1512.22 \text{ kWh}}{\text{año}} = 323.61 \text{ kg CO}_2 \text{ año}$$

4.4.4. SISTEMA HIBRIDO CON AUXILIAR GLP

De igual manera para el sistema auxiliar a GLP se toma solamente el requerimiento de combustible necesario en el transcurso de un año.

Para abastecer 1361 kWh anuales o 4899600 kJ se calcula la cantidad de GLP tomando en cuenta la eficiencia del calefón que es de 0.88.

$$m_c = \frac{\text{Demanda}}{H_C}$$

$$m_c = \frac{5567727.27 \text{ kJ}}{49789 \text{ kJ/kg}} \quad m_c = 111.82 \text{ kg}$$

$$\text{Emisión de CO}_2 = 2.96 \left(\text{kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{kg}} \right) * 111.82 = 330.98 \text{ kg de CO}_2 \text{ año.}$$

La tabla 4 presenta los valores de las emisiones anuales de CO₂ generadas por los sistemas convencionales y el sistema hibrido conjuntamente con sus sistemas auxiliares respectivos.

Tabla 4 Emisiones de CO₂ generadas anualmente en la obtención de ACS

EMISIONES ANUALES DE CO ₂	
Tipo de sistema	Emisiones de CO ₂ [kg/año]
Convencional Eléctrico	734.62
Convencional GLP	834.89
Híbrido Solar-Térmico Eléctrico	323.61
Híbrido Solar-Térmico GLP	330.98

La figura 35 muestra las emisiones anuales generadas por los sistemas convencionales y el sistema híbrido, notándose que el sistema híbrido propuesto reduce las emisiones de CO₂ trabajando con un sistema auxiliar eléctrico.

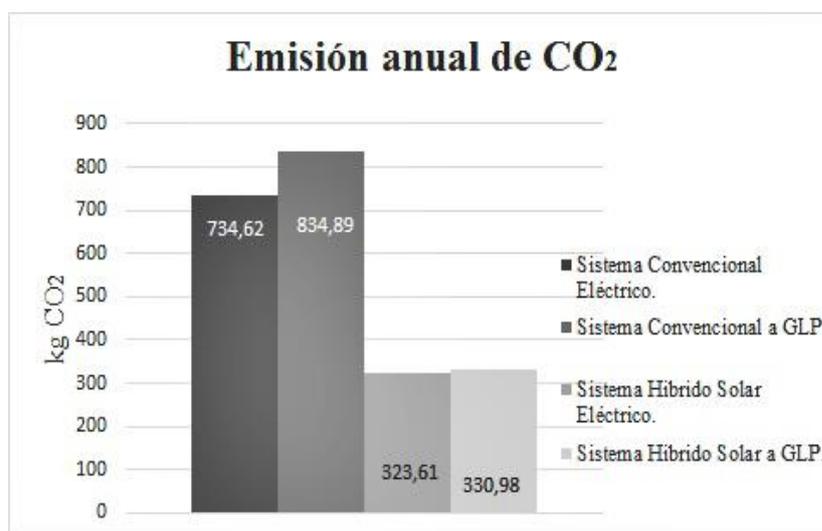


Figura 35: Comparación de emisiones de CO₂ entre sistema convencional y sistema híbrido

4.5. EMISIONES DE CO₂ CON SISTEMA HIBRIDO SOLAR TÉRMICO - ELÉCTRICO

Para determinar las emisiones de CO₂ generadas por el proyecto propuesto, se calcula la energía a partir de la potencia requerida por el auxiliar, que fueron obtenidas en las pruebas de funcionamiento, de la siguiente manera:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Potencia(W)} * \text{horas de uso por día} * \text{días de uso al mes}}{1000} \quad [35]$$

$$\text{Consumo} = \frac{3413 * 1 \text{ Hora} * 30}{1000}$$

$$\text{Consumo} = 102.39 \text{ kWh/mes}$$

Donde se considera un tiempo de 1 hora que es el tiempo aproximado de uso del sistema por los 4 integrantes.

Este valor de energía cubre la necesidad de una familia promedio de 4 integrantes, donde el consumo anual es de 1228.68 kWh, y con este requerimiento de energía las emisiones de CO₂ son:

$$\text{Emisión de CO}_2 = 214 \frac{\text{gCO}_2}{\text{kWh}} * \frac{1228.63 \text{ kWh}}{\text{año}} = 262.92 \text{ kg año.}$$

Con el sistema híbrido solar-eléctrico el consumo aproximado es 2627W, obteniendo el valor de energía consumida se puede determinar la producción de CO₂, dando como resultado:

$$\text{Consumo} = \frac{2627 * 1 \text{ Hora} * 30}{1000} = 78.81 \text{ kWh/mes}$$

Donde el consumo anual sería de $945.72 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$, con este dato se puede calcular la emisión de CO₂, por parte del sistema.

$$\text{Emisión de CO}_2 = 214 \frac{\text{g CO}_2}{\text{kWh}} * \frac{945.72 \text{ kWh}}{\text{año}} = 202.38 \text{ g CO}_2 \text{ año.}$$

4.6. EVALUACION DE UN SISTEMA AUXILIAR A GAS (GLP)

Por otra parte se puede implementar un sistema auxiliar a gas paralelo al sistema termo solar, el mismo que garantice cubrir la demanda de energía calorífica necesaria, cuando en días de menor irradiación solar el colector no proporcione la energía térmica suficiente, dicho sistema auxiliar se dimensiona en función de las necesidades de los usuarios, tales como: horas de uso, cantidad y temperatura de agua caliente. En función de estos requerimientos se puede escoger algún tipo de calefón disponible en el mercado.

Tomando como referencia el consumo de agua de una persona, que es aproximadamente de $45 \frac{\text{Its}}{\text{dia}}$, el tiempo de uso del calefón y la temperatura de agua confortable, podemos calcular la potencia que deberá tener el calefón.

$$P \cdot t = C_p \cdot m \cdot \Delta_T \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

P = Potencia que entrega el calefón.

t = Tiempo de uso del calefón.

C_p = Poder calorífico del agua.

m = Masa del agua a calentar correspondiente a un volumen de 100 Its.

Δ_T = Variación de temperatura entre la red y la confortable.

$$P \cdot t = \frac{4.18 \text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \cdot 45 \text{ kg} \cdot (45-15) ^\circ\text{C}$$

$$P \cdot t = 5643 \text{kJ}$$

$$P = \frac{5643 \text{kJ}}{15 \text{ min}}$$

$$P = \frac{5643 \text{kJ}}{900 \text{ s}}$$

$$P = 6.27 \text{ kW}$$

Con el cálculo de la potencia del calefón que nos permite cubrir con la demanda de agua caliente para una persona, podemos elegir un calefón disponible en el mercado cuyas características se muestran en la figura 36.

Especificaciones Técnicas

Modelo	Bosch Therm 4000 S 11	Bosch Therm 4000 S 17
Características generales		
Tipo de calentador	Instantáneo	Instantáneo
Cámara de Combustión	Estanca	Estanca
Tiraje	Forzado	Forzado
Tecnología	Alemana	Alemana
Capacidad en l/min	11	17
Modulación electrónica	Sí	Si
Potencia y caudal		
Potencia útil	19,3 kw	28,9 kw
Consumo nominal	21,8 kw	33,2 kw
Consumo		
Gas natural	2,5 m ³ /h	3,6 m ³ /h
GLP	1,9 kg/h	2,5 kg/h
Número de inyectores	12	18
Datos referentes al agua		
Presión máxima admisible	12 bar	12 bar
Presión mínima de funcionamiento	0,3 bar	0,3 bar
Caudal de puesta en funcionamiento	3,2 l/min	3,2 l/min
Caudal correspondiente a Δt 25°	11	17
Presión para caudal máximo	0,8 bar	1,5 bar
Circuito de humos		
Caudal de los productos de la combustión	50 kg/h	70 kg/h
Temperatura de gases en la rejilla de extracción		
Conducto de 4 m	170° C	130° C
Conducto de 0,37 m	220° C	185° C
Dispositivos de seguridad		
Sensor de presencia de llama	x	x
Presostato diferencial	x	x
Limitador de temperatura	x	x
Dimensiones		
Alto x Ancho x Profundidad cm	67 x 34 x 22	70 x 39,5 x 22
Aire/evacuación		
Diámetro ducto coaxil mm	60/100	60/100
Diámetro ducto separados	80/80	80/80
Número ideal de servicios		
	1	2
CERTIFICACIONES		
90/396/CEE	X	X
73/23/CEE	X	X
89/336/CEE	X	X
EN 26	X	X

Figura 36: Especificaciones Técnicas del calefón. [32]

Este sistema auxiliar permite la conexión para apoyo a sistemas termo solares, lo cual representa una ventaja para el diseño propuesto, el diagrama de conexión entre los sistemas se muestra en la Figura 37.

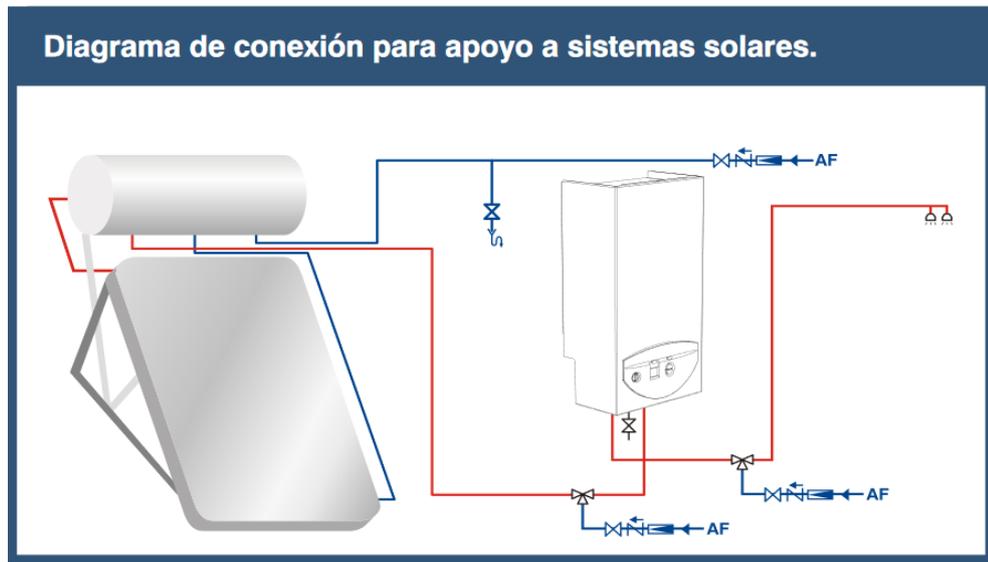


Figura 37: Conexión para apoyo a sistemas solares. [32]

Concluido el análisis económico y ambiental de los sistemas en estudio, se puede indicar que el sistema híbrido solar térmico con auxiliar a GLP, es la mejor alternativa en cuanto a ahorro económico. Sin embargo del control de flujo de combustible resulta complicado.

Cabe recalcar que para la implementación, debido a la eficiencia, emisiones de CO₂ y por facilidad en el control de potencia, se opta por la implementación de un sistema auxiliar eléctrico.

CAPÍTULO 5.

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA HIBRIDO SOLAR ELÉCTRICO.

Una forma en la que se puede aprovechar directamente la energía del sol, es mediante instalaciones solares, en donde se transforma la energía solar en energía térmica que es utilizada de varias formas, una de esas es para generar ACS para consumo residencial.

Con ayuda de simulaciones y cálculos realizados anteriormente se constató la eficiencia y beneficios que presentan los sistemas termo solares, por el hecho de ser rentables, tener mayor tiempo de vida útil, obtener ahorro de energía, y el requerimiento de potencia por parte del sistema auxiliar es mínimo en los meses con un alto índice de radiación.

En este capítulo se presenta el diseño e implementación de un sistema termo solar con un sistema de apoyo eléctrico el mismo que se puede observar en la figura 38.

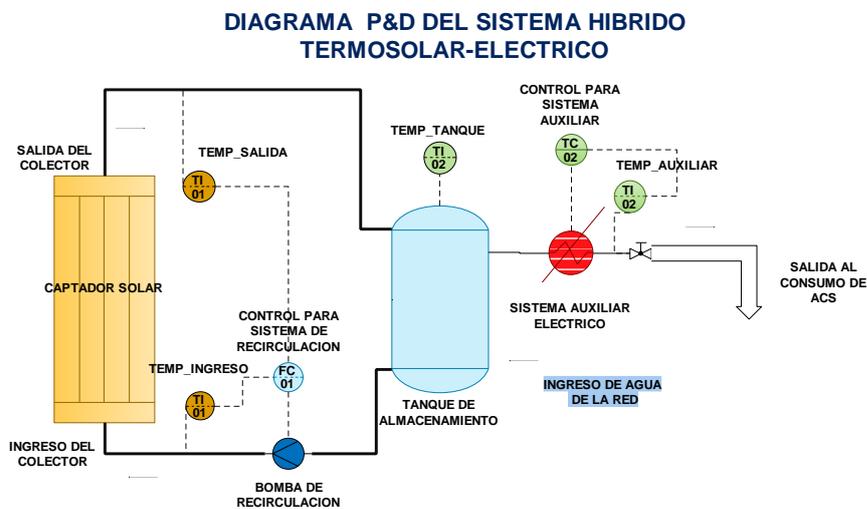


Figura 38: Diagrama P&D del sistema híbrido.

En la figura 38 se muestra la distribución real de los elementos que conforman el sistema híbrido solar térmico - eléctrico. Se tiene en la parte izquierda el colector solar, con indicadores de temperatura incorporados en el ingreso y en la salida del colector, utilizados para realizar el control de activación de la bomba de recirculación. En la parte central se tiene el tanque de almacenamiento con un indicador de temperatura utilizado para realizar el control de activación del sistema auxiliar eléctrico.

Finalmente en la parte derecha se tiene el sistema auxiliar, encargado de aportar con la energía faltante que el colector no abastezca para llegar a la temperatura de ACS consigna.

5.1. PARTES PRINCIPALES DEL SISTEMA TERMOSOLAR

El sistema termo solar implementado consta de los siguientes elementos:

- Colector termo-solar.
- Almacenamiento de ACS.
- Sistema auxiliar.
- Sistema de control.

5.1.1. Colector Termo Solares

El colector termo solar está constituido por tubos de polietileno de 1/2", uniones tipo T, uniones codos y neplós, utilizados en fontanería, el área total de captación del colector es de 1.72m².

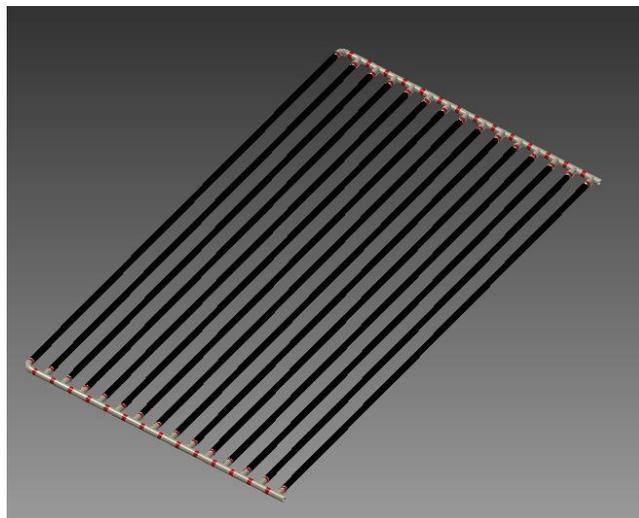


Figura 39: Red de tuberías para circulación del fluido del colector Solar.

La estructura formada por los tubos mostrada en la Figura 39 y 40, está distribuida en paralelo, la cual se encuentra sujeta en una caja de madera de 1.6 x1.1 m.



Figura 40: Contenedor de la red de tuberías del Colector Solar

5.1.2. Almacenamiento de ACS

El almacenamiento para ACS está constituido por un tanque de polietileno anticorrosivo, con una capacidad de 150 litros, en el mismo que se adapta las entradas y salidas, tanto las del colector solar y las de la red y consumo.

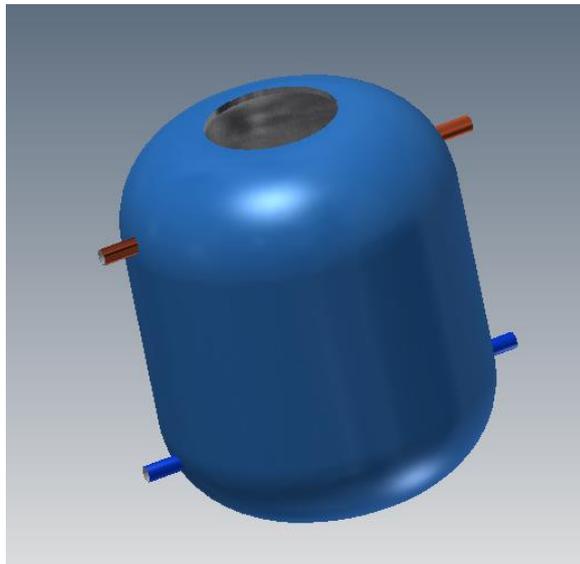


Figura 41: Tanque para almacenamiento de ACS.

5.1.3. Sistema Auxiliar (Eléctrico).

El sistema auxiliar implementado consta de una resistencia eléctrica (resistencia de inmersión) utilizada para alcanzar la temperatura de salida requerida, para el caso 60°C o la temperatura seleccionada por el usuario.

5.1.4. Sistema de control.

El diagrama de flujo mostrado en la Figura 42 se muestra el funcionamiento del proyecto, así como de los sistemas de control utilizados para la recirculación y el control de temperatura del sistema auxiliar.

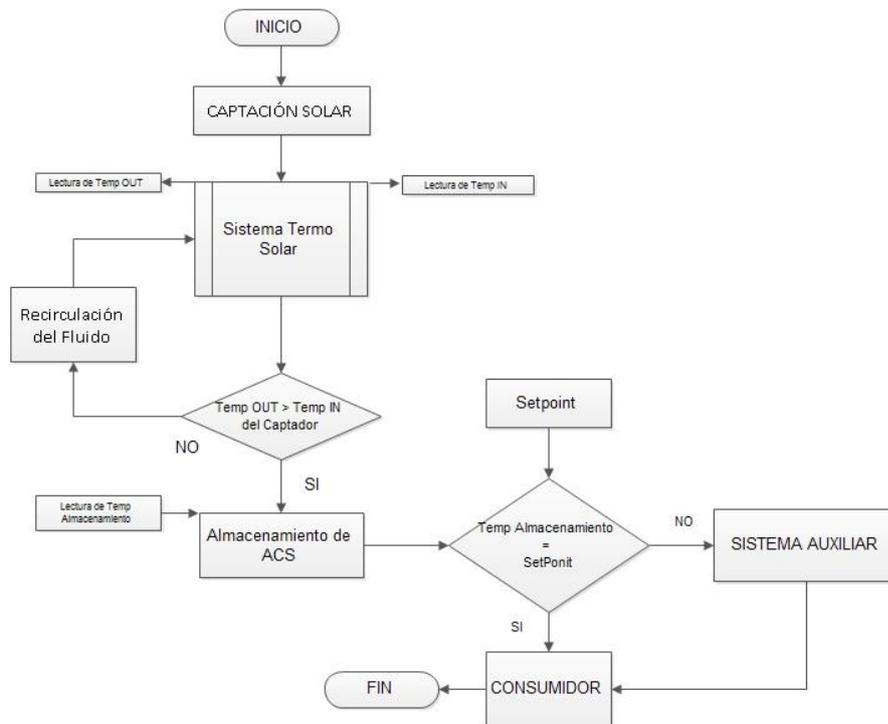


Figura 42: Diagrama de flujo para el control de temperatura y flujo.

El termostato diferencial es el encargado de realizar el control de la recirculación del fluido, cuando la temperatura a la salida del colector es superior a la temperatura de ingreso, activa a la bomba encargada de la recirculación. El sistema de control tiene el objetivo de activar el sistema auxiliar cuando sea necesario, en este caso cuando se tenga una temperatura inferior a la de referencia establecida por el usuario.

5.2. MODELO DEL SISTEMA HIBRIDO

Véase en la Figura 43 el sistema a implementar, el cual cuenta con todos los elementos descritos anteriormente.

El sistema a implementar esta dimensionado para el consumo promedio que tendría una persona, en este caso es de 150 Litros de ACS aproximadamente. [29]

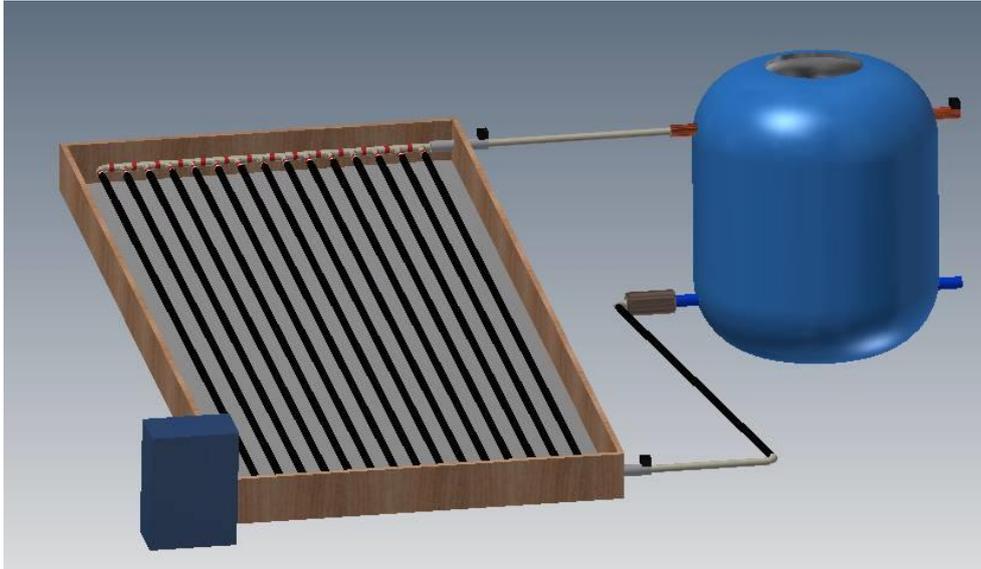


Figura 43: Diseño Completo del Sistema a Implementar.

El sistema auxiliar incorporado en el proyecto es un sistema de apoyo eléctrico, el mismo que consta de una resistencia de inmersión (niquelina), utilizada para incrementar la temperatura del agua de consumo, siempre que el panel solar térmico no alcance la temperatura consigna, debido a la baja radiación solar presente en la superficie del captador. El sistema auxiliar utiliza una resistencia de inmersión de 3300W, de la cual se requiere conocer el modelo matemático de su planta, para implementar un sistema de control.

5.3. RECONOCIMIENTO DE LA PLANTA SISTEMA AUXILIAR

En la Figura 44 se indica los datos tomados de temperatura del sistema auxiliar, en donde los datos adquiridos corresponden a las temperaturas inicial y final, teniendo 15.5°C como temperatura inicial y 32.5°C la final, con un caudal de salida de 2.5 litros/min, con los datos tomados se realiza la aproximación matemática de la planta a estudiar.

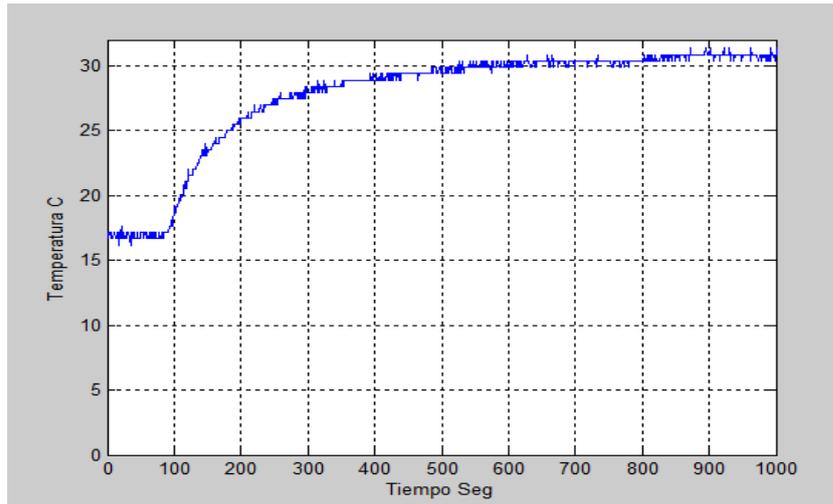


Figura 44: Datos tomados para obtención de la planta.

Para determinar la planta se utiliza el método de Smith, en los cuales se toma las siguientes consideraciones, Los instantes seleccionados por este autor fueron los tiempos requeridos para que la respuesta alcance el 28.3% (t_{28}) y el 63.2% (t_{63}) del valor final. [31]

$$32^{\circ}\text{C} - 15.5^{\circ}\text{C} = 16.5^{\circ}\text{C}$$

$$16.5^{\circ}\text{C} * 63\% = 10.395^{\circ} \rightarrow 10.395^{\circ}\text{C} + 16.5^{\circ}\text{C} = 26.9^{\circ}\text{C}$$

$$16.5^{\circ}\text{C} * 28\% = 4.62^{\circ}\text{C} \rightarrow 4.62^{\circ}\text{C} + 16.5^{\circ}\text{C} = 21.12^{\circ}\text{C}$$

Con los datos obtenidos

$$t_{63} = 254 \text{ segundos}$$

$$t_{28} = 120 \text{ segundos}$$

- Se calcula el valor de K, dicho valor es igual a: la variación de temperatura conseguida, sobre el voltaje aplicado obteniéndose lo siguiente:

$$K = \frac{\Delta y}{A} \quad [31] \quad \text{Ecuación 11}$$

$$K = \frac{35 - 15}{110} \rightarrow K = 0.24$$

- Ahora se procede a calcular la constante de tiempo τ .

$$\tau = \frac{3}{2}(t_{63} - t_{28}) \quad [31] \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\tau = \frac{3}{2}(254 - 120) \rightarrow \tau = 201$$

- Ya con los datos obtenidos y calculados procedemos a formar el modelo matemático de la primera planta, cabe recalcar que no se toma en cuenta el tiempo muerto, debido a que es mínimo.

$$G(s) = \frac{K}{1 + \tau * s} \quad [31] \quad \text{Ecuación 13}$$

$$G(s) = \frac{0.24}{1 + 201 * s}$$

Para corroborar el modelo de planta obtenido, se utiliza el toolkit de Matlab **System Identification Tools**, por medio de esta herramienta se hace la estimación del modelo de planta en base a los datos obtenidos previamente, en las figuras 45 y 46 se puede observar los parámetros calculados y el modelo de la planta de primer orden sin retardo.

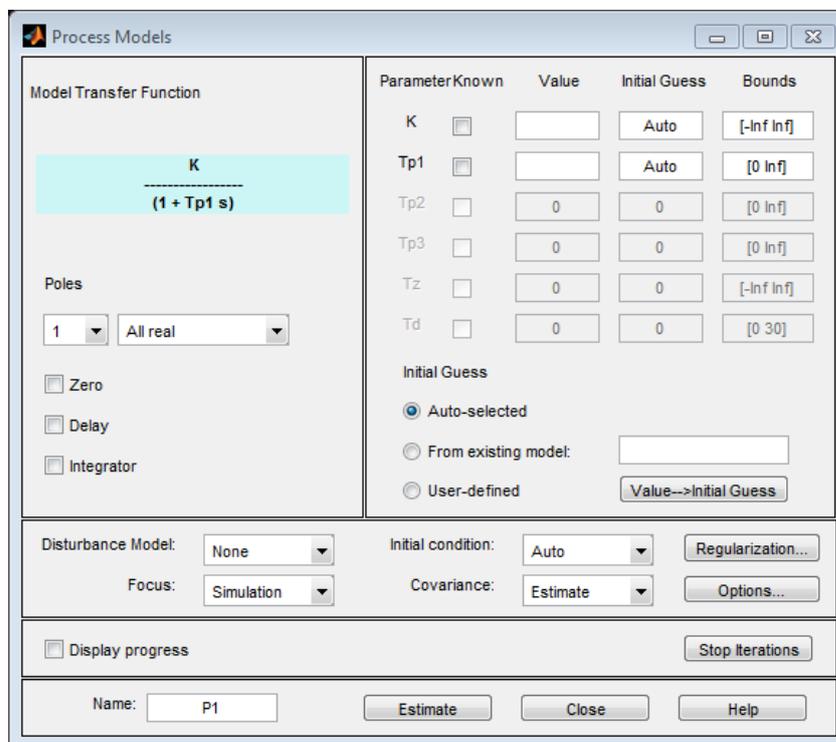


Figura 45: Estimación de modelo de la planta

Al estimar el modelo de planta da como resultado el siguiente modelo matemático:

$$G(s) = \frac{K}{1+\tau*s} \rightarrow G(s) = \frac{129.5}{1+15.84*s}$$

Dando como resultado el siguiente modelo con un porcentaje de estimación de 96.59%:

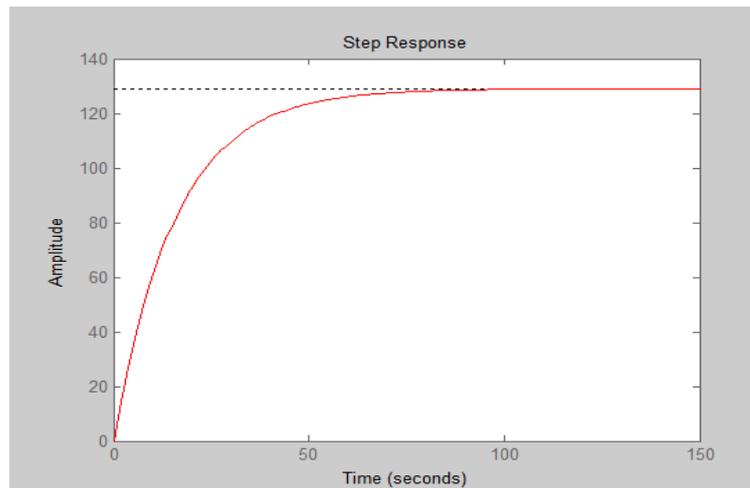


Figura 46: Planta estimada por Matlab:

Ya con el modelo matemático de la planta a controlar se procede a calcular las constantes K_p , K_i , K_d correspondientes a un controlador PID, en donde para la sintonización del mismo se utiliza el Plugin PID Tuning de Matlab, donde para el cálculo de las constantes del controlador la función de transferencia del sistema debe estar previamente cargada en el Works pace de Matlab, se procede a calcular las constantes dando como resultado los siguientes datos:

$$K_p=15.176$$

$$K_i=1.2094$$

$$K_d=6.993$$

- Constantes del controlador PID para la planta calculada:

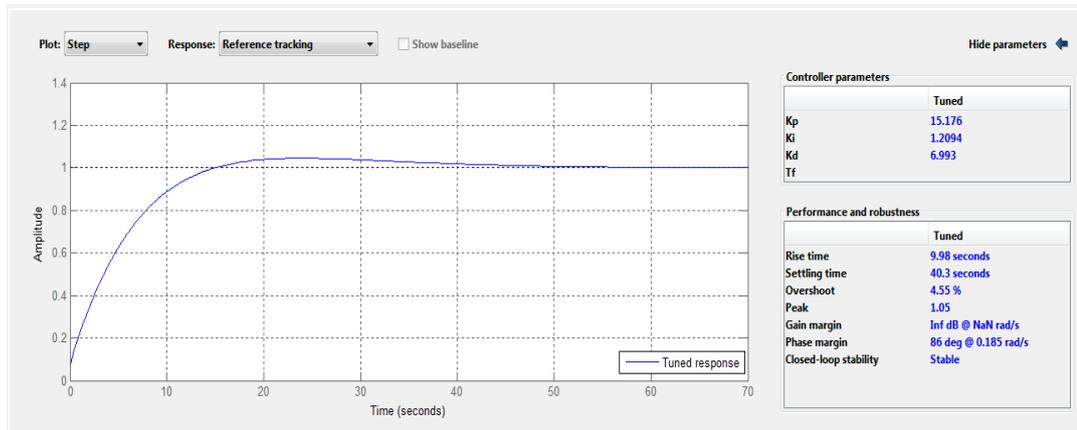


Figura 47: Datos del controlador PID para la planta calculada.

Respuesta de la planta al controlador, el tiempo de estabilización del sistema está en un tiempo aproximado a los 280seg, en donde el error disminuye proporcionalmente en función de que se va acercando al valor estimado.

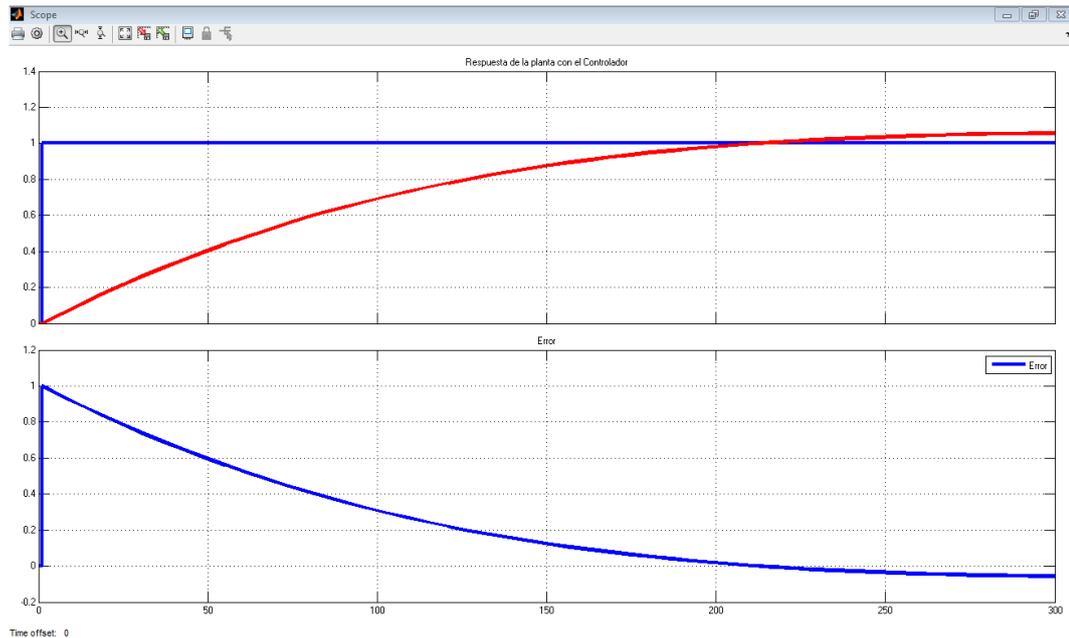


Figura 48: Respuesta del Controlador a la planta calculada.

- Constantes del controlador PID para la planta estimada por Matlab.:

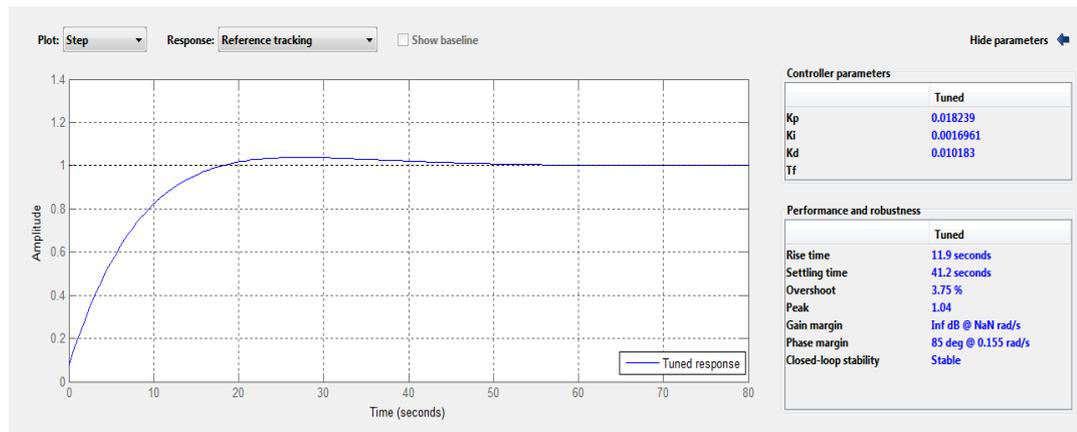


Figura 49: Datos del controlador PID de la planta estimada por Matlab.

El resultado de la planta estimada por Matlab junto con las constantes del controlador PID da como resultado un tiempo de estabilización próximo a los 100seg, lo cual se puede observar en la siguiente figura.

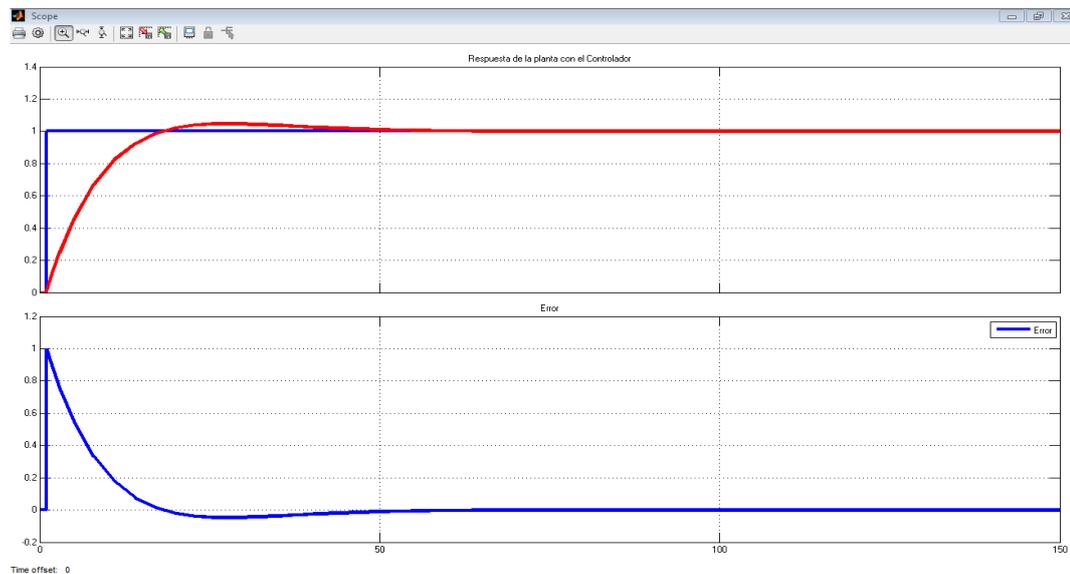


Figura 50: Respuesta del Controlador PID a la planta estimada por Matlab.

El objetivo del controlador es regular el voltaje y corriente utilizados por el sistema auxiliar con el objetivo de reducir la potencia consumida, también ayudará a incrementar la vida útil del sistema eléctrico por el hecho de que trabajará solamente con la potencia que se necesite.

5.4. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL

En la figura 51 se muestra el esquema del circuito utilizado para controlar la potencia proporcionada a la resistencia de inmersión (niquelina), implementada como sistema auxiliar dentro del proyecto.

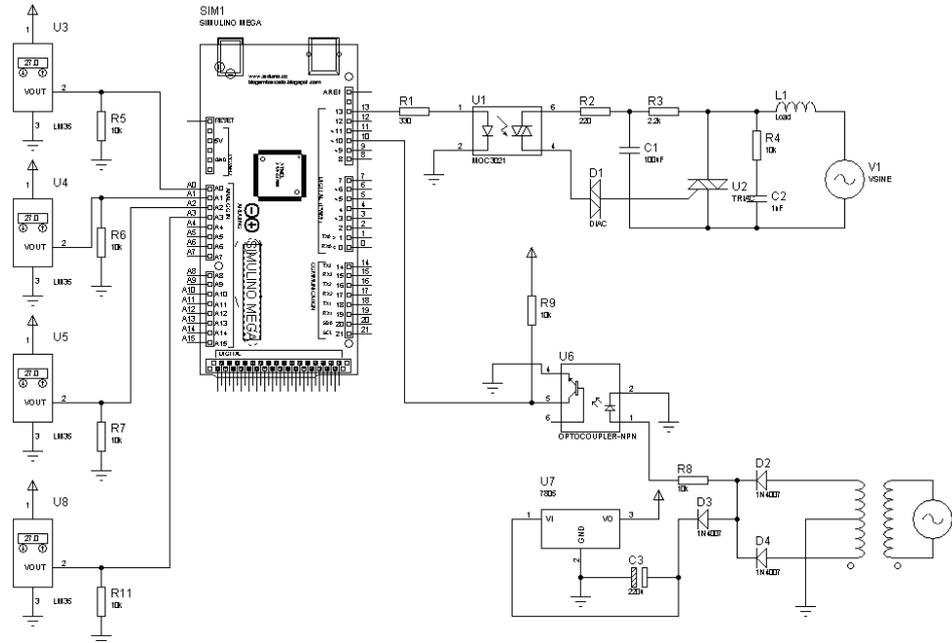


Figura 51: Esquema del sistema de control para sistema auxiliar eléctrico.

El esquema presentado en la figura 51 muestra el circuito electrónico implementado, para controlar el ángulo de disparo de un Triac, dispositivo encargado de controlar el voltaje y la corriente suministrada a la resistencia de inmersión (niquelina), de 3300 W. La cual se utiliza para alcanzar la temperatura deseada por el cliente. En la figura 38 se muestra la disposición de los sensores de temperatura del colector, tanque de almacenamiento y salida del sistema auxiliar utilizados para realizar el control.

El funcionamiento del sistema de control se basa en la comparación entre la temperatura del tanque de almacenamiento TEMP_TANQUE y la temperatura de salida del sistema auxiliar TEMP_AUXILIAR, cuando la temperatura del auxiliar es menor a la temperatura deseada, entra en funcionamiento la niquelina, controlada por el triac, para suministrar la potencia necesaria hasta alcanzar la temperatura deseada.

Este proceso es realizado por un control digital que regula el ángulo de disparo del triac, recortando o ensanchando la onda de tensión aplicada a la niquelina, dependiendo directamente de la temperatura en el tanque de almacenamiento.

Además el sistema de control se encarga de la activación de la bomba de recirculación acoplada al colector solar, el funcionamiento se basa en la comparación de las temperaturas de ingreso TEMP_INGRESO y salida del colector TEMP_SALIDA, activando la bomba cuando la temperatura de salida del colector sea mucho mayor que la temperatura de ingreso, y desactivando la bomba cuando las dos temperaturas sean similares.

5.5. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIBRIDO.

Para contrastar los resultados entre lo simulado y lo medido, en el proyecto es necesario obtener los parámetros propios del sistema implementado, tales como eficiencia, área del captador y volumen del tanque.

Vease en la figura 52 la radiación, dato requerido para determinar la eficiencia del colector solar implementado.

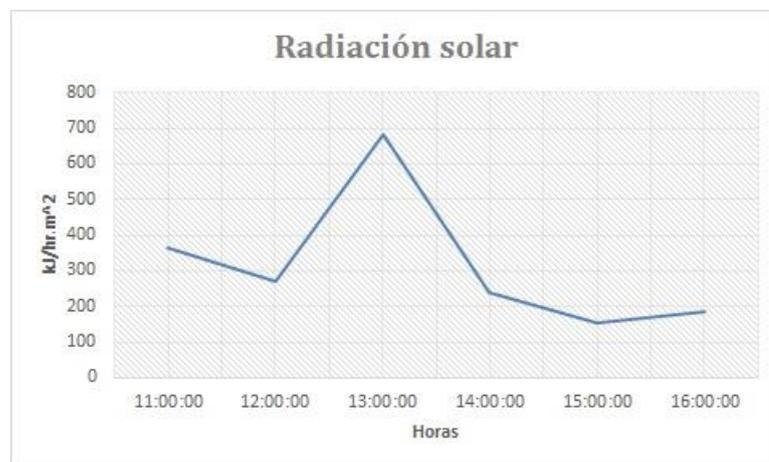


Figura 52: Incidencia de la radiación solar global en la ciudad de Cuenca el 29 de mayo del 2016.

Véase en la figura 53 la temperatura alcanzada en el área de almacenamiento de ACS en un tiempo de recirculación de 5 horas, este resultado va a ser utilizado para el cálculo de la eficiencia del colector

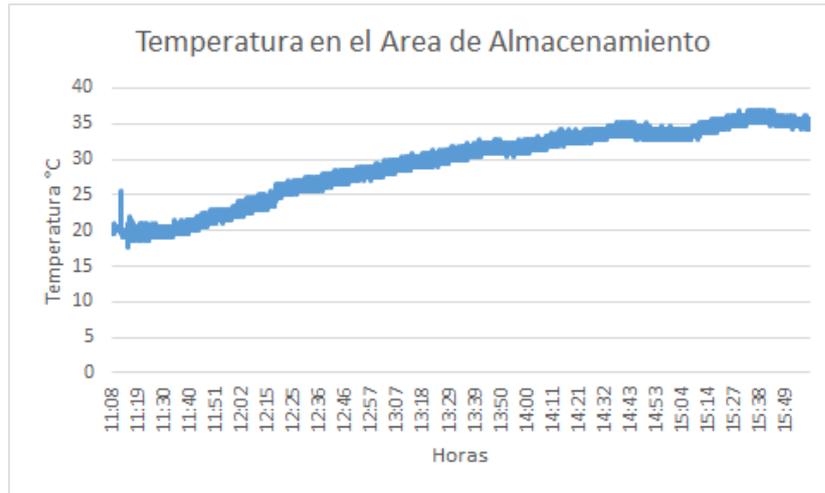


Figura 53: Incremento de la temperatura en el tanque de almacenamiento.

EL parámetro principal es la eficiencia del captador, la misma que se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\eta_c = \frac{\rho V C_p \Delta_T}{\text{Irradiación} * \text{Área} * \# \text{horas}}$$

Para hallar el valor de $\Delta_T = T_f - T_i$ utilizamos los valores medidos los mismos que se observan en la figura 53, teniendo como $T_f = 37^\circ\text{C}$ y $T_i = 20^\circ\text{C}$ y el volumen del tanque de 100 litros.

$$\eta_c = \frac{1 \frac{\text{kg}}{\text{litro}} * 100 \text{ litros} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 17 \text{ K}}{\frac{0.31616 \text{ kW}}{\text{m}^2} * 1.76 \text{ m}^2 * 6 \text{ h}}$$

$$\eta_c = 0.59$$

En donde los 0.31616 kW/m^2 es la media aritmética de los valores de irradiancia en el intervalo de pruebas

Obtenidos los parámetros del sistema implementado, se realiza la simulación para estimar la respuesta que da el sistema durante un año, dando como resultado lo siguiente:

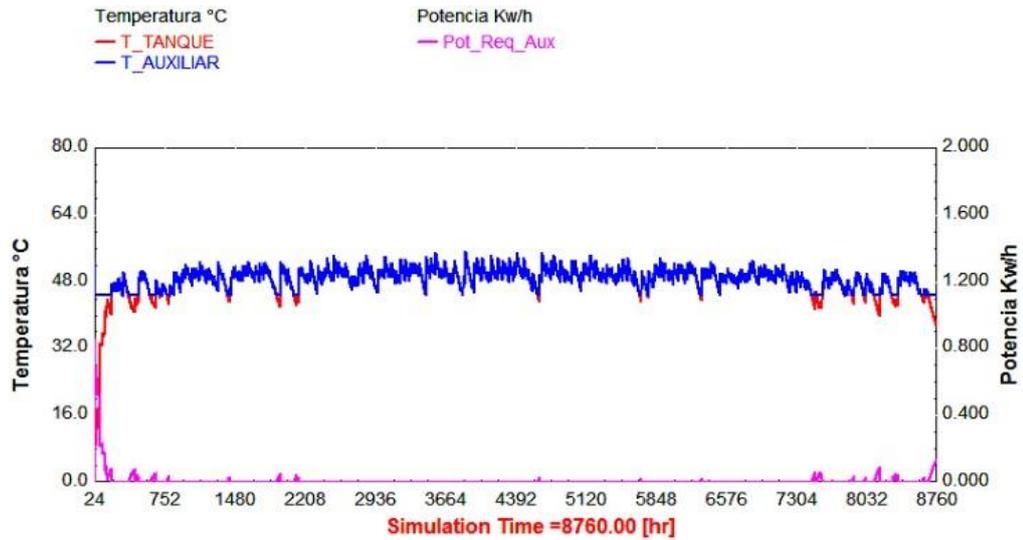


Figura 54: Temperatura de alcance por parte del sistema hibrido termo-solar eléctrico.

Cabe recalcar que la temperatura final del sistema está estimada a la temperatura confort del agua 45 °C.

El aporte de energía del sistema termo solar y el auxiliar para alcanzar esta temperatura se muestra en la figura 55 dando como resultado:

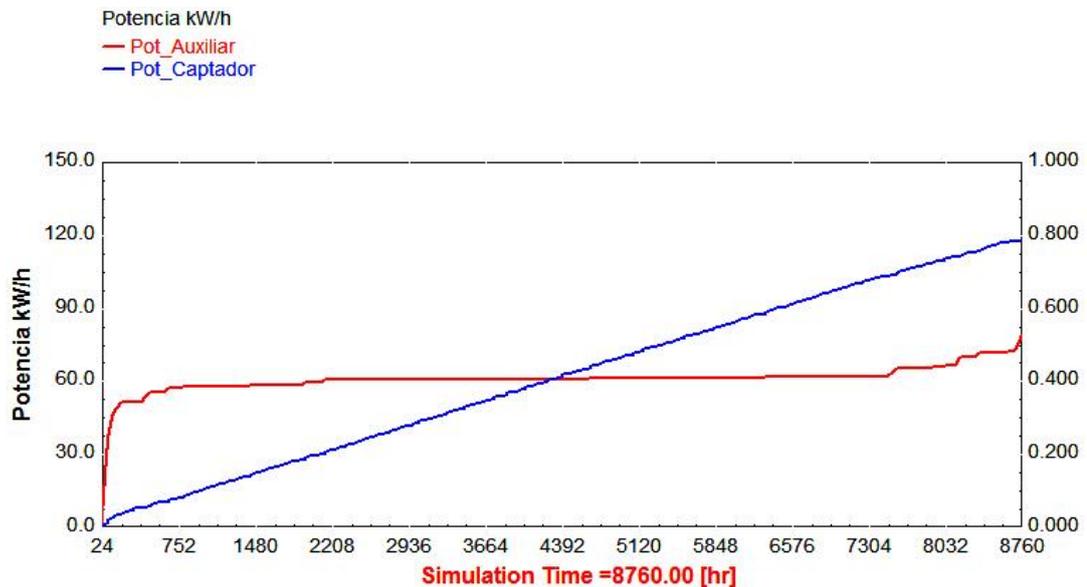


Figura 55: Aporte de energía por parte del sistema hibrido.

5.6. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE SISTEMA HIBRIDO SOLAR TÉRMICO ELÉCTRICO

En las pruebas de funcionamiento el sistema propuesto tiene un consumo promedio de 2626.8 W, en un intervalo de 15 min de uso, mientras que un sistema puramente eléctrico con el mismo tiempo de uso, requiere de 3413W en los dos casos alcanzando una temperatura de 45°C estimada como temperatura de confort, las gráficas de los consumos de potencia se pueden observar en la Figura 56.

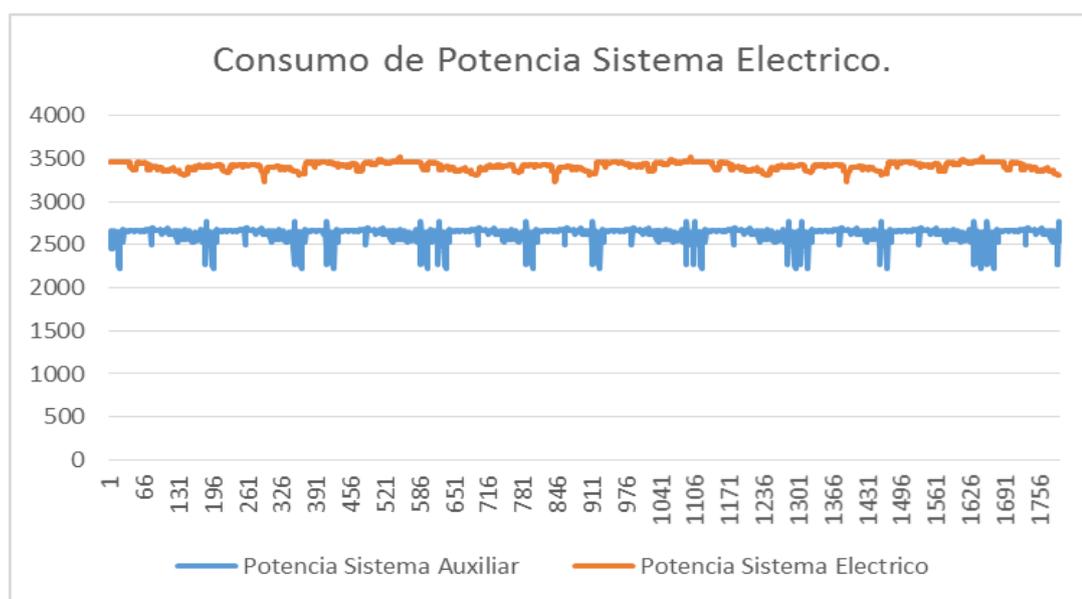


Figura 56: Comparación potencia consumida por sistema eléctrico convencional y sistema híbrido.

En la tabla 5 se indica los valores de tensión, corriente y de potencias aplicadas al sistema auxiliar eléctrico, se puede verificar que la tensión y corriente son datos obtenidos con del medidor de calidad FLUKE 1735.

Tabla 5 Variación de tensión y corriente aplicadas a la resistencia de inmersión.

Tensión	Corriente	Potencia
51.96 V	11.88 A	1.07 kW
79.04 V	23.89 A	2.10 kW
82.57 V	24.96 A	2.08 kW
85.29 V	25.77 A	2.19 kW

85.99 V	26.01 A	2.12 kW
87.63 V	26.52 A	2.37 kW
87.63 V	26.53 A	2.37 kW
90.50 V	27.36 A	2.45 kW
91.26 V	27.70 A	2.52 kW
92.82 V	28.05 A	2.63 kW
93.86 V	28.35 A	2.67 kW
93.28 V	28.25 A	2.63 kW
93.86 V	28.36 A	2.67 kW
94.70 V	28.58 A	2.71 kW
101.2 V	30.58 A	3.08 kW
101.73 V	30.70 A	3.01 kW

En la figura 57 se indica la tensión y corriente que consume el sistema auxiliar eléctrico, cuando el sistema termo solar no aporta la suficiente energía para llegar a la temperatura consigna.

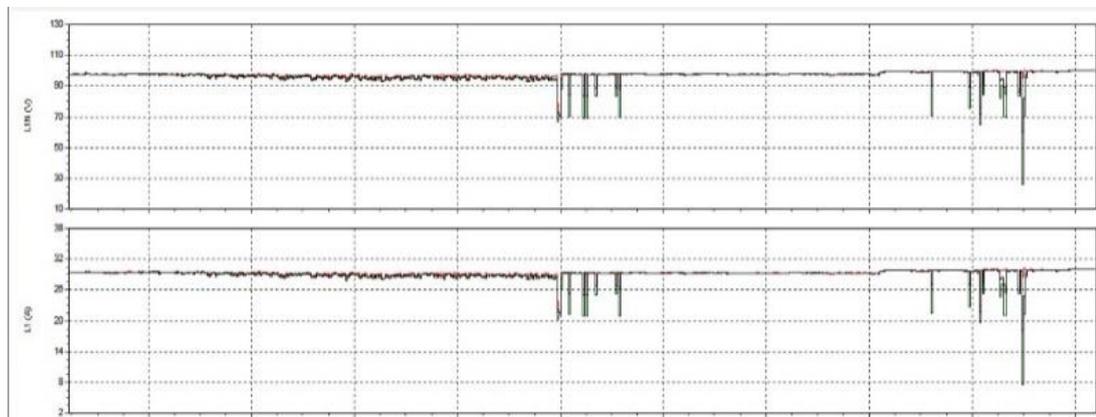


Figura 57: Tensión, corriente y potencia aplicadas a la resistencia de inmersión.

El sistema de control actúa regulando la potencia que se suministra al sistema eléctrico auxiliar, de tal manera que la tensión y la corriente medida en la carga son recortadas, dando como resultados los niveles que se muestran en la Fig. 58.

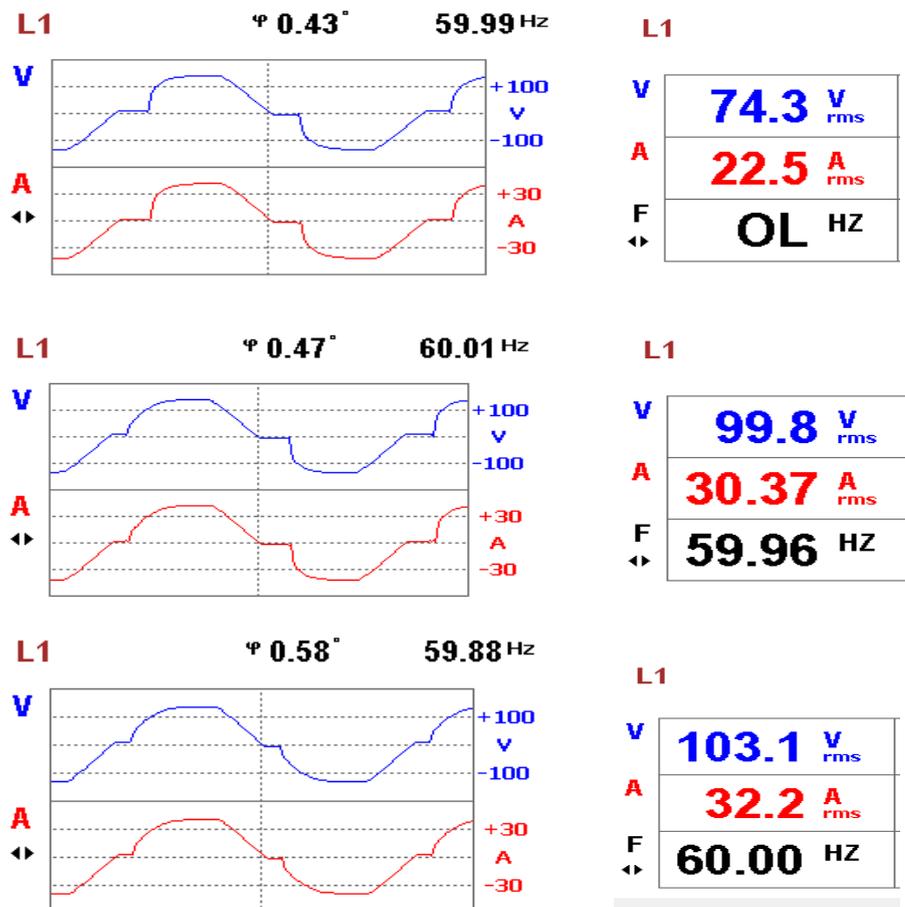


Figura 58: Regulación de tensión y corriente aplicadas al sistema auxiliar eléctrico.

5.7. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

La cantidad y precios de los materiales, elementos y dispositivos electrónicos utilizados en la implementación del sistema híbrido solar térmico eléctrico, se detallan en la tabla 5.

Presupuesto que posteriormente se utiliza en el análisis de rentabilidad del proyecto.

Tabla 5 Presupuesto del sistema hibrido.

SISTEMA HIBRIDO PARA OBTENCIÓN DE ACS				
MATERIALES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TUBOS DE POLIETILENO		15 m	\$ 0.90	\$ 13.50
MATERIALES DE FONTANERÍA	CODOS	2	\$ 0.50	\$ 1.00
	NEPLOS	20	\$ 0.36	\$ 7.20
	UNIONES (T)	20	\$ 0.28	\$ 5.60
	ACOPLES	20	\$ 0.35	\$ 7.00
AISLANTE TÉRMICO	BANDA AISLANTE TERMICO	1.75 X 3 m	\$ 2.75	\$ 8.25
	ESPUMA AISLANTE ZIKA BOOM	5	\$ 10.00	\$ 50.00
GRAPAS	SUJETADORES DE TUBOS	40	\$ 0.20	\$ 8.00
ESTRUCTURA (CAJA)	CAJA DE 1.10 X 1.60 METROS	1	\$ 30	\$ 30.00
VIDRIOS	VIDRIOS DE 1.10 X 0.78 METROS	2	\$ 7.50	\$ 15.00
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	TANQUE DE POLIETILENO 150 LITROS	1	\$ 50.00	\$ 50.00
ACOPLES PARA TANQUE	ACOPLES PARA SALIDAS Y ENTRADAS AL TANQUE	4	\$ 1.25	\$ 5.00
BOMBA DE AGUA	BOMBA DE RECIRCULACION	1	\$ 20.00	\$ 20.00
CISTERNA	VALVULA DE NIVEL	1	\$ 20.00	\$ 20.00
ARDUINO MEGA 2650		1	\$ 30.00	\$ 30.00
SHIELD LCD KEYPAD 16X2		1	\$ 18.00	\$ 18.00
COMPONENTES ELECTRÓNICOS	TRIAC BTA41600B	1		
	OPTOACOPLADORES	1	\$ 4.00	\$ 4.00
	DIAC	1	\$ 0.90	\$ 0.90
	RESISTENCIAS	10	\$ 0.40	\$ 0.40
	CAPACITORES	3	\$ 0.04	\$ 0.40
	DICIPADORES	1	\$ 1.25	\$ 3.75
	LM35	4	\$ 5.00	\$ 5.00
	4N25	1	\$ 2.50	\$ 10.00
	PUENTE	1	\$ 1.25	\$ 1.25
	TRAFO 120 A 12 V	1	\$ 1.50	\$ 1.50
CABLE MULTIPAR		10 mts	\$ 10.00	\$ 10.00
			\$ 0.40	\$ 4.00
SISTEMA AUXILIAR ELÉCTRICO		1		\$ 20.00
Mano de obra				\$ 70.00
TOTAL				\$ 420

CAPÍTULO 6.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas, tanto de los sistemas fotovoltaicos como de los sistemas termo solares se obtuvieron los niveles de temperatura, requerimientos de potencia del sistema auxiliar en cada tipo de sistema simulado, durante un año; se determina que el sistema de mejores prestaciones es el termo solar con recirculación forzada, debido a que éste, presenta el menor índice de pérdidas en la transferencia térmica llegando a temperaturas de hasta 65⁰C.

En función al dimensionamiento, el sistema híbrido cumple con el criterio del mes de mayor radiación, criterio utilizado para dimensionar sistemas solares evitando sobrecalentamiento y posibles averías en su estructura, es decir que en el mes que se presente el mayor índice de radiación, el sistema debe llegar a la temperatura asignada por el usuario, para este caso los 60⁰C.

Por lo que se analiza el comportamiento de los sistemas en el mes en el cual el índice de radiación es el más alto de todo el año. Obteniendo los resultados que se muestran a continuación.

6.1. SISTEMA TERMO-SOLAR SIN INTERCAMBIADOR DE CALOR

Para corroborar lo dicho, se realiza la simulación el mes de septiembre, el cual presenta el mayor índice de radiación, teniendo como resultado un aporte térmico del 69.53% aproximadamente por parte del sistema termo solar del total requerido, en este caso se puede llegar a temperaturas próximas a los 71⁰C, en la Figura 59 se constata el aporte de energía del sistema termo solar y el sistema auxiliar. Las altas temperaturas, superiores a los 60 °C, alcanzadas por los sistemas ACS, evitan la proliferación de la bacteria causante de la legionelosis. [37]

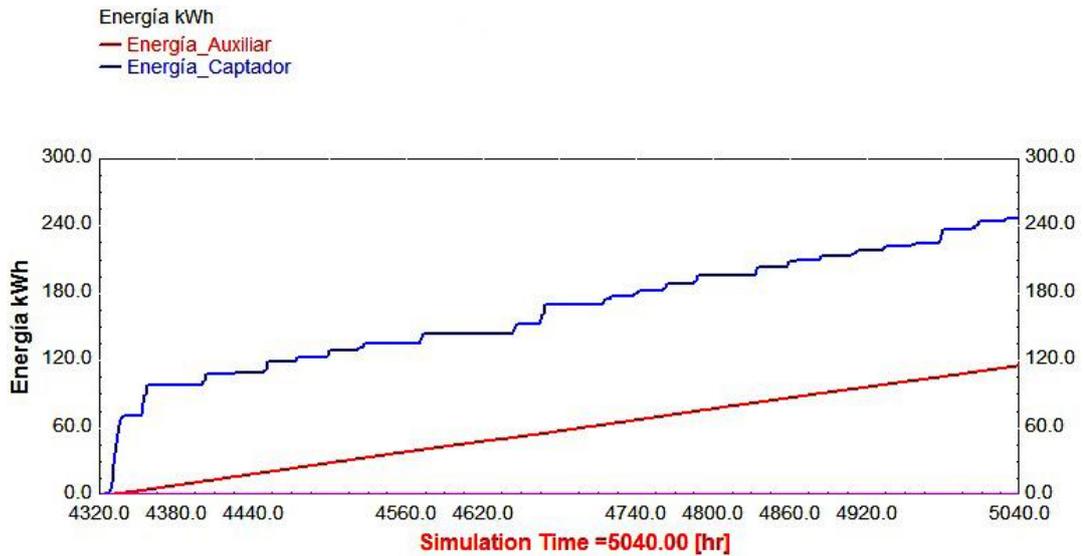


Figura 59: Aporte de energía del sistema termo solar sin intercambiador de calor y el sistema auxiliar en el mes de mayor radiación.

6.2. SISTEMA TERMO-SOLAR CON INTERCAMBIADOR DE CALOR

Mientras el sistema con intercambiador de calor tiene un aporte térmico del 43.88%, pudiendo llegar a temperaturas próximas a los 65⁰ C, esto se debe a las pérdidas por transferencia térmica en el intercambiador de calor, en donde se estima que la temperatura del fluido disminuye entre 4 y 5 ⁰C, dependiendo de la eficiencia del mismo.

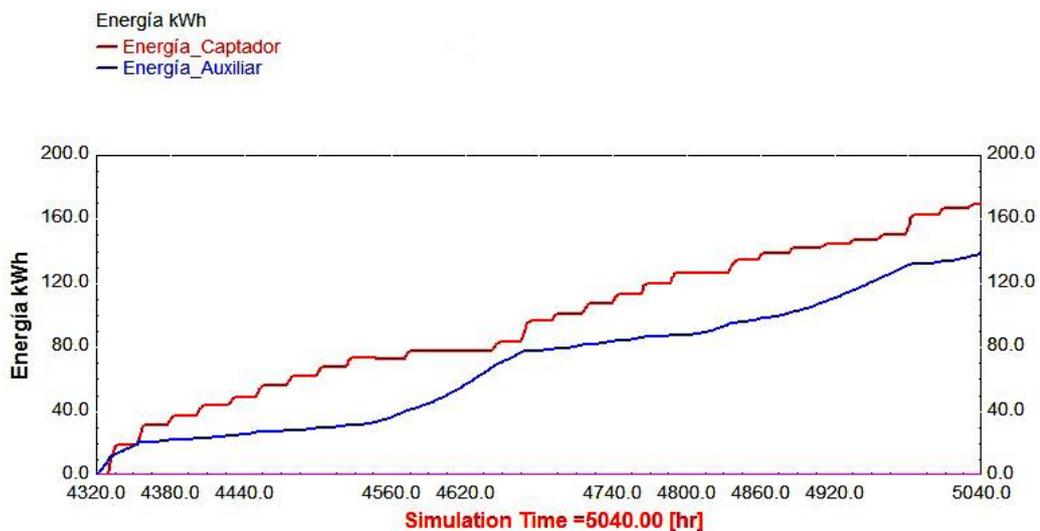


Figura 60: Aporte de energía del sistema termo solar con intercambiador de calor y sistema auxiliar.

6.3. SISTEMA FOTOVOLTAICO

El sistema fotovoltaico está sujeto a las mismas condiciones que los sistemas anteriores, en donde la energía solar aporta el 57.82% de la energía demandada.

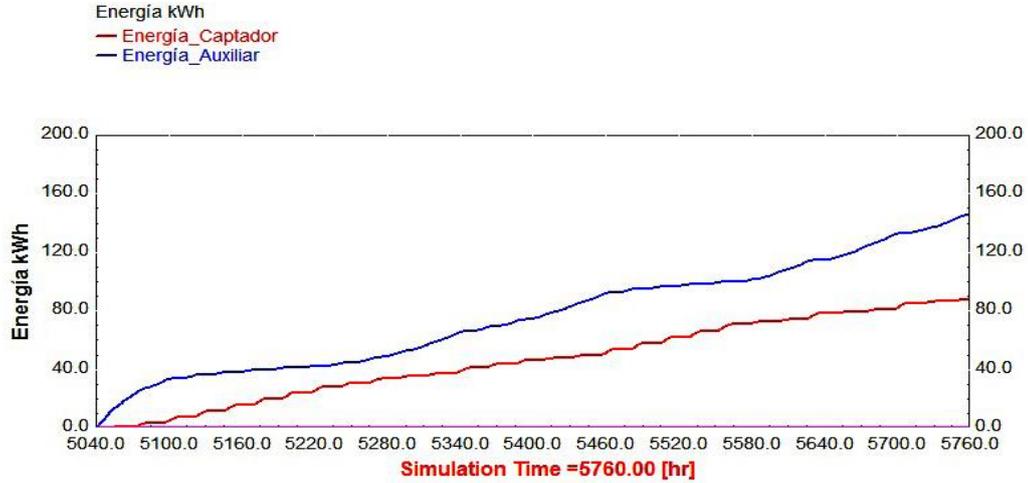


Figura 61: Aporte de energía del sistema fotovoltaico y el sistema auxiliar

Tomando los datos del aporte de energía de los sistemas solares térmicos y fotovoltaicos, además de los requerimientos de energía por parte de sistemas convencionales y auxiliares eléctricos y GLP, en la figura 62 se observa, que la mayor aporte de energía es proporcionada por el sistema termo solar y el menor requerimiento de energía es suministrado por un sistema auxiliar eléctrico.

En base a este análisis de eficiencia, se opta por la implementación de un sistema híbrido termo solar eléctrico.

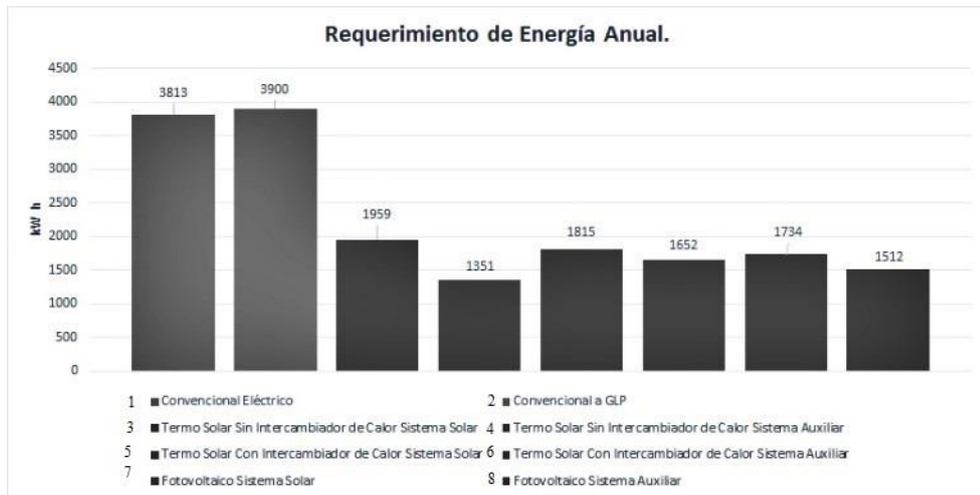


Figura 62: Aporte y requerimiento anual de energía

De las gráficas de aporte de energía entre los sistemas analizados, se puede verificar que el sistema solar térmico sin intercambiador de calor, presenta el más alto porcentaje de aporte energético. Además en base al análisis de costos en consumo de energía por parte de los sistemas auxiliares, se tiene que un sistema a GLP es más económico generando un ahorro del 28.27% a lo largo de un año, frente al costo de un sistema auxiliar eléctrico.

El sistema auxiliar a GLP emite un 2.42% más CO₂ que los sistemas auxiliares eléctricos. Por este motivo se procedió a la implementación de un sistema auxiliar eléctrico, tomando en cuenta además la facilidad de control de potencia que estos presentan, en comparación a un sistema auxiliar a GLP.

El análisis de rentabilidad del sistema propuesto se basa en el flujo de caja correspondiente, el cual tiene una proyección de 10 años, el objetivo de este estudio es determinar la viabilidad del proyecto y conocer si es factible o no su aplicación.

FLUJO DE CAJA

Inversion Inicial									\$ (420,00)
Costo Anual sistema Electrico convencional			Costo Anual sistema hibrido propuesto				Flujo de Efectivo		
Año	Valor				Valor				
1	\$ 355,87				\$ 126,57			\$ 229,30	
2	\$ 362,20				\$ 128,82			\$ 233,38	
3	\$ 368,65				\$ 131,12			\$ 237,54	
4	\$ 375,21				\$ 133,45			\$ 241,76	
5	\$ 381,89				\$ 135,83			\$ 246,07	
6	\$ 388,69				\$ 138,24			\$ 250,45	
7	\$ 395,61				\$ 140,70			\$ 254,91	
8	\$ 402,65				\$ 143,21			\$ 259,44	
9	\$ 409,82				\$ 145,76			\$ 264,06	
10	\$ 417,11				\$ 148,35			\$ 268,76	

Para el cálculo del VAN y TIR se necesita como dato la inversión inicial del proyecto, el flujo de caja el cual previamente ha sido calculado además de un porcentaje apropiado para ajustar la tasa de descuento al tiempo presente.

Calculo del VAN:

$$VAN = -A + \frac{FNC_1}{(1 + K)} + \frac{FNC_2}{(1 + K)^2} + \dots + \frac{FNC_n}{(1 + K)^n}$$

Dónde:

A= inversión Inicial.

FNC_n =Flujo Neto de Caja

N=vida útil estimada para la inversión.

Tasa de Interes	8,89%
n=	10 años
VAN=	\$ 1.233,39
TIR=	56%

En base a los resultados obtenidos en el cálculo del VAN y TIR, refleja que la implementación del sistema es viable dado que según resultados $VAN > 0$ por ende es factible la implementación, además de tener una tasa de rentabilidad del 64%.

CONCLUSIONES

Realizado el estudio y análisis de los diferentes sistemas termo solar y fotovoltaico se ha llegado a la conclusión de que, el sistema que presta mejores beneficios, rentabilidad y el menor índice de pérdidas térmicas es el sistema termo solar sin intercambiador de calor, conjuntamente con un sistema auxiliar a gas.

Se debe de tomar en consideración la eficiencia de cada uno de los componentes que conforman los sistemas, tanto termo solares como fotovoltaicos, debido a que estos parámetros afectan directamente en el dimensionamiento, eficiencia, consumo de combustible y energía por parte de los sistemas auxiliares. La eficiencia que presentan los componentes en la simulación difiere de los físicos debido a las características constructivas.

Para la implementación del sistema es importante realizar un dimensionamiento adecuado, tomando en cuenta los diferentes factores que influyen directamente en la eficiencia.

La radiación solar es un factor de primordial importancia, el sistema se dimensiona de acuerdo al criterio del mes crítico (de mayor radiación), con el objetivo de evitar un sobrecalentamiento en las tuberías y posibles averías en el sistema.

Para el sistema auxiliar se implementa un sistema eléctrico constituido por una resistencia de inmersión, la principal razón de implementar la resistencia de inmersión es la facilidad de controlar la potencia que esta requiere, a más de presentar una muy buena eficiencia en la conversión de energía.

En el proyecto, se sugiere colocar el sistema auxiliar a la salida del tanque de almacenamiento, específicamente antes del consumo de ACS, permitiendo mejorar la eficiencia del sistema auxiliar, debido a que se calienta únicamente el agua que necesita el usuario, evitando el desperdicio de energía requerida para este propósito.

El control utilizado para el sistema auxiliar, permite reducir el consumo de energía eléctrica requerido, pues actúa directamente sobre la potencia que consume la resistencia de inmersión, activándola siempre que se tenga una temperatura inferior a la deseada.

El análisis económico muestra que el sistema termo solar, consigue un ahorro económico considerable, frente a un sistema convencional eléctrico o GLP.

En cuanto al costo de energía utilizada por los sistemas auxiliares, un sistema a GLP proporciona un 28.27% de ahorro frente a un sistema auxiliar eléctrico, esto en función de los costos de energía eléctrica y GLP sin subsidio proyectados para años próximos.

RECOMENDACIONES

Los materiales utilizados en la construcción del colector y tanque de almacenamiento, deben ser de buena calidad para garantizar una larga vida útil del proyecto.

Para evitar la corrosión de los elementos como: tubos, uniones y más elementos de fontanería, utilizados en la implementación se recomienda hacer uso de materiales de polietileno disponibles en el mercado, con lo que se garantiza la calidad del agua de consumo y la duración del sistema.

El aislamiento térmico en el tanque de almacenamiento es de suma importancia, debido a que este garantiza la conservación de la temperatura del agua, permitiendo hacer uso de la misma en días nublados o en horas de la noche, horario en el que regularmente se utiliza ACS.

Es recomendable utilizar sistemas auxiliares eléctricos, debido a la facilidad de control que brindan y también al bajo porcentaje de emisiones de CO_2 que generan con relación a los sistemas GLP.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Construcción del colector solar, red de tuberías.



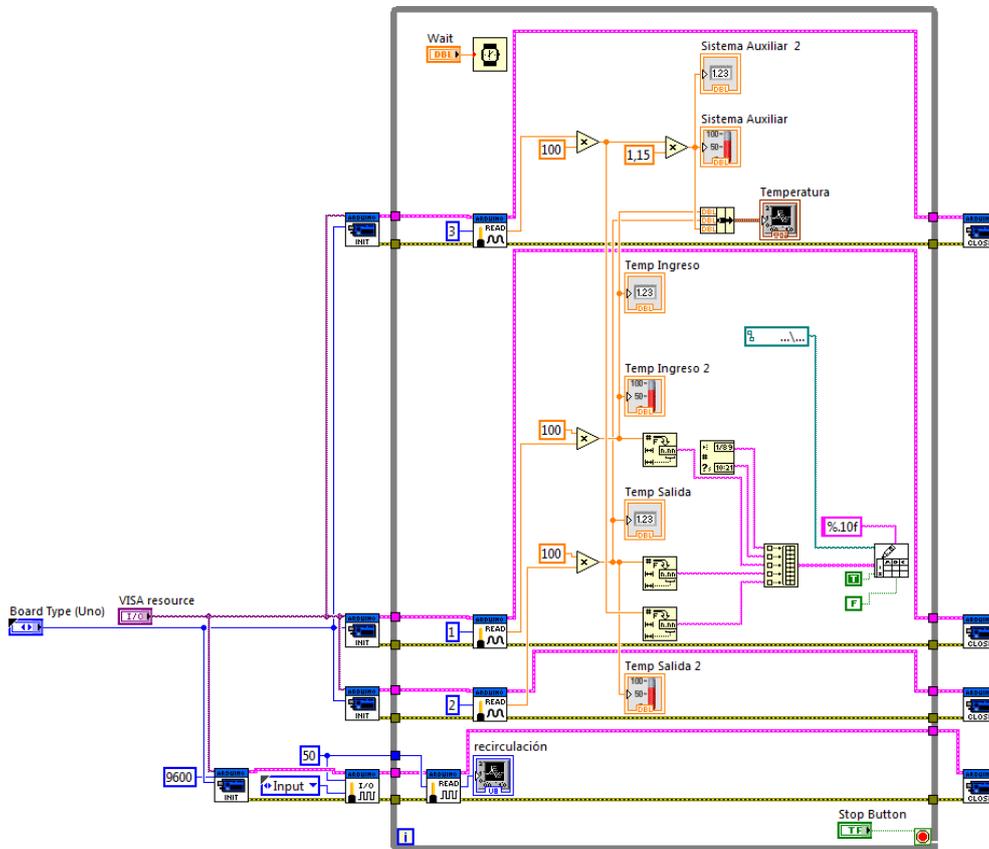
Sistema terminado



APÉNDICES

APÉNDICE B

VI utilizado para la adquisición de datos de las temperaturas del sistema.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Morocho Yunga, Inés Rocío, Ríos Jaramillo, Kevin Santiago « Estudio técnico para incorporar generación distribuida fotovoltaica en el sector residencial del cantón Cuenca,» [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7516>
- [2] M. J. Montes Pita, «ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE SISTEMAS SOLARES DE ALTA EXERGÍA QUE EMPLEAN AGUA COMO FLUIDO CALORÍFERO,» [En línea]. Available: http://oa.upm.es/1242/1/MARIA_JOSE_MONTES_PITA_A1b.pdf.
- [3] L. F. Sánchez Procel, «ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR PARA AGUA CALIENTE SANITARIA,» [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5051/1/UPS-CT001668.pdf>.
- [4] D. A. Parra Gonzalez, «EVALUACIÓN DE METODOS HEURISTICOS Y MATEMATICOS PARA LA DETERMINACION DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA,» Noviembre 2013. [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4727/1/tesis.pdf>.
- [5] G. J. Delgado Orellana y M. L. Orellana Samaniego, «ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL DIARIA EN EL CANTÓN CUENCA MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO BRISTOW & CAMPBELL,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CT004934.pdf>.
- [6] C. L. Giralt, «MANUAL SISTEMA SOLAR TÉRMICOS,» Chile.
- [7] R. . H. Valdovinos Flores, «Sistemas solares térmicos para el calentamiento de agua domiciliaria,» Universidad de Santiago de Chile, 2009. [En línea]. Available: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2051/lib/bibliotecaupssp/printPage.action>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ?op=toPDF&ct=MLA&rds=chapter&docID=10552363&st=70&ed=90&dt=1447872734523.
- [8] M. C. Tobajas, Montaje y Mantenimiento de Instalaciones Solares Térmicas, Cano Pina, S.L. – Ediciones Ceysa, 2009.
- [9] M. Tobajas, Montaje y Mantenimiento de Instalaciones Solares Térmicas, Ediciones Ceysa, 2012.
- [10] «SERdelSur,» [En línea]. Available: <http://www.serdelsur.com/index-solar.html>. [Último acceso: 06 Noviembre 2015].
- [11] M. C. Tobajas, «ProQuest ebrary,» Instalaciones solares fotovoltaicas., [En línea]. Available: <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2051/lib/bibliotecaupssp/printPage.action?op=toPDF&ct=MLA&rds=chapter&docID=11002253&st=6&ed=29&dt=1447099007649>. [Último acceso: 2015 Noviembre 09].
- [12] M. K. K. M. P. Siddharth Suman, «Performance enhancement of solar collectors—A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 192 - 210, 2015.
- [13] T. K. B. M. H. T. I. B. c. E. h. H. H. H. Khelifa A, «Analysis of a Hybrid Solar Collector Photovoltaic Thermal (PVT),» de *ELSEVIER*, Alegeria, 2015, pp. 835 - 843.
- [14] «eccoInnova,» [En línea]. Available: <http://www.ecoinnova.com.ar/calefaccion-sanitaria.php>.
- [15] O. Rojas, W. Jiménez, T. H y I. Villegas, «SISTEMA SOLAR TÉRMICO HÍBRIDO SOLAR-DIESEL PRODUCTOR,» de *1er Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos*, 2010.
- [16] J. C. Jiménez Patiño y H. P. Llivichusca Chaca, Diseño, Implementación y monitoreo de Calentadores Híbridos con Energía Solar-Glp y Energía Solar- Calentadores Eléctricos para la Obtención de Agua Caliente Sanitaria,

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cuenca, 2014. Disponible en <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8964>
- [17] A. S.A. [En línea]. Available: <http://www.argas.com.uy/productos/calefonos/tiro-forzado-estanco-bosch.pdf>. [Último acceso: 23 03 2016].
- [18] C. E. CEDEÑO, «DISEÑO DE INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN EDIFICIO DE VIVIENDA, Y ANÁLISIS COMPARATIVO CON INSTALACIONES TRADICIONALES EN ECUADOR,» CATALUNYA, 2015.
- [19] «EL UNIVERSO,» Se reduce el subsidio al gas por baja en precios, [En línea]. Available: <http://www.eluniverso.com/noticias/2015/02/19/nota/4567381/se-reduce-subsidio-gas-baja-precios>.
- [20] J. E. L. Sopeña, «Manual de Instalaciones de GLP,» 2001. [En línea].
- [21] D. E. Mercurio, «www.elmercurio.com.ec,» 07 Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://www.elmercurio.com.ec/392229-el-valor-del-cilindro-de-gas-debe-ser-15-dolares/#.VtS5BOaAhB1>. [Último acceso: 29 Febrero 2016].
- [22] Xavier Serrano G, Jorge González y Guillermo. Escrivá, Quantitative Evaluations of CO2 Emissions Reduction by Distributed Resources in Buildings.
- [23] J. C. BURBANO J., Á. H. RESTREPO y O. J. SABOGAL F, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALENTADOR SOLAR DE AGUA OPERANDO POR,» *Scientia et Technica Año XII*, n° 31, pp. 85-90, 2006.
- [24] A. Khelifa , K. Touafek , H. Benmoussa y A. Tabet I, «Hot Water System Based on the Hybrid Solar Collector,» *15th international conference on Sciences and Techniques of Automatic control*, pp. 537-540, 2014.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [25] Z. W. Mu y G. X. Dianhua, «Design and Study on Small Solar Energy Photovoltaic Hot Water System,» de *University of Shanghai for Science and Technology*, Shanghai, China, 2011.
- [26] «El valor del cilindro de gas debe ser 15 dólares,» *El Mercurio Diario Independiente de la Mañana*, 07 08 2013.
- [27] Xavier Serrano G, Jorge Rojas E, IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN MASIVA DE LA COCINA DE INDUCCIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ECUATORIANO.
- [28] P. Cora , L. Saravia y C. Cadena, «COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE,» *INENCO, UNSa –CONICET* .
- [29] J. Calle, J. Fajardo y L. Sánchez, «Agua caliente sanitaria de uso doméstico con Energía Solar, una alternativa para la ciudad de Cuenca,» *INGENIUS*, pp. 57 - 65.
- [30] BHTINGENIEROS, «BHTAVANZA,» Energía solar térmica: Placa plana VS Tubo de vacío, [En línea]. Available: <http://www.bhtavanza.com/informacion/informacionart/116-energia-solar-termica-placa-plana-vs-tubo-de-vacio>.
- [31] V. M. Alfaro, «IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS SOBREAMORTIGUADOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE LAZO ABIERTO,» *Ingeniería 11*, pp. 11 - 25, 2001.
- [32] ARGAS, «Calentador a gas de tiro forzado estanco Bosch 11/17 L TFE,» [En línea]. Available: <http://www.argas.com.uy/productos/calefontes/tiro-forzado-estanco-bosch.pdf>.
- [33] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ministerio del Ambiente, CONELEC y CORPORACIÓN CENACE, «Informe 2012 FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO AL AÑO 2012,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/wp->

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

content/uploads/downloads/2013/02/Informe-de-Factor-de-Emision-de-CO2-20121.pdf.

- [34] E. D. G. D. E. I. (. GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE , «GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) Versión de marzo de 2011,» n° Versión de marzo de 2011 , 2011.
- [35] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, «CENTROSUR,» [En línea]. Available: <http://www.centrosur.com.ec/?q=calcular-consumo>.
- [36] René Parra, Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 – 2011, Universidad San Francisco de Quito - Instituto de Investigaciones Atmosféricas,2013
- [37] Yu-sen E, Janet E Stout, Victor L. Yu y Radisav D. Vidic, «Disinfection of Water Distribution System for Legionella». Seminars in Respiratory Infections Vol 13 Junio 1998 pag. 147-159.
- [38] Xavier Serrano G, Jorge Rojas E, IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN MASIVA DE LA COCINA DE INDUCCIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ECUATORIANO.