



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA
SANITARIA MEDIANTE BOMBA DE CALOR ASISTIDA POR
ENERGÍA SOLAR PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA
CIUDAD DE QUITO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

GUDIÑO BERRONES ALEXANDER JAVIER
alexander.gudino@epn.edu.ec

ROMERO FUENTES EDUARDO FELIPE
eduardo.romero01@epn.edu.ec

DIRECTOR: Dr. LÓPEZ VILLADA JESÚS
jesus.lopez@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. HIDALGO DÍAZ VÍCTOR HUGO, D.Sc.
victor.hidalgo@epn.edu.ec

Quito, Julio 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **ALEXANDER GUDIÑO Y EDUARDO ROMERO**, bajo mi supervisión.

Dr. LÓPEZ VILLADA JESÚS

DIRECTOR DE PROYECTO

ING. HIDALGO VÍCTOR HUGO, D.Sc.

CO-DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **ALEXANDER GUDIÑO Y EDUARDO ROMERO**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Alexander Gudiño

Eduardo Romero

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo quiero dedicar a Dios, a mis padres, hermanas, sobrinas, familiares y amigos que siempre me han apoyado a lo largo de mi carrera universitaria.

ALEXANDER

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a DIOS por haberme permitido llegar a este punto de mi vida y haberme dado las fuerzas, salud para lograr mi objetivo planteado, a pesar de no ser digno de él me ha demostrado su infinita bondad y amor.

También quiero agradecerles a mis padres JUDITH Y SIXTO por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, valores, por todos sus ejemplos de perseverancia y constancia que me han permitido salir adelante y ser una persona de bien y más que nada por su infinito amor.

A mis hermanas MARY, MABE, a mis dos sobrinitas AMELIE y la última que todavía no nace pero que ya le sentimos como si ya estuviera con nosotros. Gracias mil ya que han sido un apoyo incondicional en todo momento y por estar ahí a lo largo de mi vida profesional siempre serán unas personas muy importantes en mi vida las quiero mucho.

Agradezco mis familiares, Abuelit@s ,Ti@s, Prim@s, y demás familia que me apoyaron en este logro de mi vida muchas gracias de todo corazón.

A mi director de tesis el PhD López Jesús por la dedicación y apoyo que ha brindado en el desarrollo de este trabajo. Un agradecimiento enorme al D.Sc. Hidalgo Hugo ya que él fue el que me brindo un apoyo incondicional no como docente sino como un amigo le viviré eternamente agradecido por sus palabras de aliento, por el respeto a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas, también agradecerte a ti mi Cristinilla Almeida que me has aconsejado y apoyado para que termine pronto mi tesis quiero darte las gracias por la persona maravillosa que has sido conmigo eres como una hermana para mí siempre viviré agradecido contigo y tu familia por toda su ayuda brindada.

Como no podía falta agradezco a mis amigos del 206 (Alex, Andrés, Mario, Daniel, Fabian, Eduardo, Henry, Emilio, Felipe, Jazz, Aníbal, Wlady, Estefanía) que son como parte de mi familia gracias por todo lo que vivimos en todo este tiempo que sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

A todos mis amigos del ecuavoley (alejo, omar, nacho, diablo, cachetes, stinky, shito, lucho, ganzo, toforix, fartitis, y demás) les agradezco por compartir lo que más me apasiona hacer y por su apoyo en la realización de este trabajo.

Y por último agradecerle a la mejor facultad del mundo INGENIERIA MECANICA que me vio crecer como Ingeniero que me brindo conocimientos, cualidades, virtudes, habilidades para ser una persona de bien por todo eso muchas gracias.!!! TRES RASES UN CHISPUN Y UN CARAJO POR MECANICA¡¡¡¡¡¡¡¡¡

ALEXANDER

DEDICATORIA

A mis padres, a mis hermanos, a mis amigos y todos aquellos que siempre estuvieron a mi lado guiándome y aconsejándome para cumplir mis metas sin miedo.

EDUARDO

AGRADECIMIENTO

A mi madre Anita † y a mi padre Arnulfo, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mis hermanos Edith, Javier, Cristian y Carlos quienes directa o indirectamente han contribuido al cumplimiento de una de mis más grandes metas. Gracias por todo el apoyo.

A Crispi, quien ha sido mi mano derecha durante todo este tiempo; te agradezco por tu desinteresada ayuda, por echarme una mano cuando siempre la necesite, por aportar considerablemente en mi proyecto. Te agradezco no solo por la ayuda brindada, sino por todos los buenos momentos que vivimos. Eres una gran persona y me encanta tenerte a mi lado.

A todos mis amigos y en especial al 206 (Andrés, Mario, Alexander, Fabián, Alex, Daniel, Henry, Joel, Aníbal, Wlady, Felipe, Jazz, Estefanía) que más que amigos son una familia. Gracias por permitirme aprender más de la vida a su lado. Esto es posibles gracias a ustedes.

Al Dr. Jesús López por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante el desarrollo de esta tesis.

EDUARDO

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
DECLARACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE de tablas	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
Pregunta de Investigación.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Situación energética del Ecuador.....	3
1.1.1. Producción de energía en el Ecuador	3
1.1.2. Consumo de energía en el Ecuador.....	5
1.2. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria	8
1.2.1. Ducha eléctrica	9
1.2.2. Calefón a gas.....	10
1.2.3. Calefón eléctrico	11
1.2.4. Sistema solar térmico.....	12
1.2.5. Bomba de calor.....	14
1.2.6. Análisis comparativo de los sistemas de preparación de ACS	15
1.3. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria en el Ecuador.....	16
1.4. Estudio de la bomba de calor asistida por energía solar para calentamiento de agua: Revisión	17
2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.1. Levantamiento de información.....	20
2.1.1. Elaboración de la encuesta	20
2.2. Selección del software de simulación.....	20
2.2.1. Engineering Equation Solver (EES)	21

2.2.2.	TRAnsient SYstem Simulation Program (TRNSYS)	21
2.2.3.	EnergyPlus	22
2.2.4.	Modelica	22
2.2.5.	Matlab	23
2.3.	Regresión lineal múltiple para modelamiento de la bomba de calor	24
2.4.	Entorno de simulación TRNSYS	25
2.5.	Indicadores de rentabilidad de los sistemas	30
2.5.1.	Valor Actual Neto (VAN)	30
2.5.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	30
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1.	Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la encuesta	32
3.1.1.	Población	32
3.1.2.	Muestra	32
3.1.3.	Resumen de la encuesta realizada	37
3.2.	Obtención del modelo de bomba de calor por medio de regresión lineal	37
3.2.1.	Objetivo del modelo	37
3.2.2.	Obtención de datos para generación de modelo	38
3.2.3.	Definición de las variables del modelo	38
3.2.4.	Ajuste del modelo de regresión	38
3.3.	Cálculo de las necesidades energéticas	40
3.3.1.	Perfil de consumo	40
3.3.2.	Cálculo del consumo de ACS	40
3.3.3.	Demanda energética de consumo de ACS	41
3.3.4.	Condiciones ambientales para la simulación de los sistemas	42
3.4.	Análisis comparativo de los sistemas de preparación de ACS	43
3.4.1.	Modelado de los sistemas propuestos	43
3.4.2.	Resumen anual de los sistemas simulados	52
3.4.3.	Consumo eléctrico	53
3.4.4.	Energía generada y fracción solar para los sistemas A y D	54
3.4.5.	Análisis energético de los sistemas	55
3.5.	Análisis económico	58
3.5.1.	Presupuesto de los sistemas	58
3.5.2.	Costo de la energía por cada sistema	59
3.5.3.	Ahorro anual por cada sistema	59

3.5.4. Cálculo del VAN, TIR Y PAYBACK	61
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
4.1. Conclusiones.....	62
4.2. Recomendaciones.....	64
ANEXO 1	68
ANEXO 2	70
ANEXO 3	71
ANEXO 4	72
ANEXO 5	74
ANEXO 6	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Perspectiva de crecimiento poblacional.	4
Figura 1.2. Producción de energía primaria en el Ecuador.	5
Figura 1.3. Producción de energía secundaria en el Ecuador.	6
Figura 1.4. Demanda de energía por sectores en el Ecuador.	7
Figura 1.5. Usos finales de la energía a nivel doméstico.	7
Figura 1.6. Esquema de funcionamiento de una ducha eléctrica.	10
Figura 1.7. Esquema de funcionamiento de un calefón a gas.	11
Figura 1.8. Esquema de funcionamiento de un calefón eléctrico.	12
Figura 1.9. Esquema de funcionamiento del sistema térmico natural.	13
Figura 1.10. Esquema de funcionamiento de un sistema solar térmico.	13
Figura 1.11. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor.	14
Figura 1.12. Agua caliente en los hogares ecuatorianos.	16
Figura 2.1. Hoja de trabajo al iniciar el diseño en Simulation Studio.	28
Figura 2.2. Interfaz para la conexión de Types en Simulation Estudio.	29
Figura 2.3. Parametrización de Types.	29
Figura 3.1. Número de personas que residen en una vivienda en la ciudad de Quito.	33
Figura 3.2. Tipo de vivienda.	34
Figura 3.3. Sector de residencia.	34
Figura 3.4. Sistema utilizado para el calentamiento de agua sanitaria.	35
Figura 3.5. Tiempo aproximado para ducharse.	35
Figura 3.6. Número de veces que se ducha a la semana.	36
Figura 3.7. Consumo de GLP al mes.	36
Figura 3.8. Costo mensual de energía eléctrica en una residencia de la ciudad de Quito.	37
Figura 3.9. Perfil de consumo horario de consumo de ACS.	40
Figura 3.10. Condiciones ambientales.	43
Figura 3.11. Esquema hidráulico A.	44
Figura 3.12. Esquema hidráulico B.	45
Figura 3.13. Esquema hidráulico C.	46
Figura 3.14. Esquema hidráulico D.	47
Figura 3.15. Modelo en TRNSYS del sistema A.	48
Figura 3.16. Modelo en TRNSYS del sistema B.	49
Figura 3.17. Modelo en TRNSYS del sistema C.	50
Figura 3.18. Modelo en TRNSYS del sistema D.	51
Figura 3.19. Consumo mensual de electricidad por cada sistema.	53
Figura 3.20. Energía solar mensual generada y fracción solar: sistemas A y D (1 colector).	54
Figura 3.21. Energía solar mensual generada y fracción solar: sistemas A y D (2 colectores).	55
Figura 3.22. Aporte de energía en sistema A.	56
Figura 3.23. Aporte de energía en sistema B.	57
Figura 3.24. Aporte de energía en sistema C.	57
Figura 3.25. Aporte de energía en sistema D.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Comparación de los sistemas de calentamiento de agua sanitaria.....	15
Tabla 1.2. Sistemas para ACS a nivel mundial.....	15
Tabla 2.1. Comparación de los programas estudiados.....	24
Tabla 2.2. Descripción de los Types utilizados.....	26
Tabla 3.1. Coeficientes potencia calorífica.....	39
Tabla 3.2. Coeficientes del COP.....	39
Tabla 3.3. Consumo máximo de ACS por día.....	41
Tabla 3.4. Demanda energética mensual y anual.....	42
Tabla 3.5. Parámetros sistema A.....	44
Tabla 3.6. Parámetros sistema B.....	45
Tabla 3.7. Parámetros sistema C.....	46
Tabla 3.8. Parámetros sistema D.....	47
Tabla 3.9. Resumen de las principales características de los sistemas.....	52
Tabla 3.10. Costo anual de energía eléctrica por sistema.....	54
Tabla 3.11. Detalle de costos de cada sistema.....	60
Tabla 3.12. Ahorro anual de energía eléctrica.....	60
Tabla 3.13. Cálculos del VAN, TIR y PAYBACK.....	61

RESUMEN

En la ciudad de Quito debido a las bajas temperaturas ambientales que se presentan, el agua caliente sanitaria (ACS) en una vivienda es un elemento primordial para el aseo personal. Los sistemas que comúnmente se utilizan para dicho propósito consumen altos niveles de energía eléctrica o GLP, por lo que en este estudio se diseñó un sistema con bomba de calor asistida por energía solar con el fin de analizar si este sistema genera un ahorro de energía en comparación con los sistemas convencionales y es factible desde los puntos de vista técnico y económica. Este sistema fue diseñado para satisfacer las necesidades de ACS para una vivienda unifamiliar de 6 personas. Para simular energéticamente las diferentes configuraciones de los sistemas de preparación de ACS se utilizó el software TRNSYS. Este software presenta elementos pre-diseñados que requieren datos técnicos que se obtuvieron de catálogos de fabricantes de los diferentes equipos que interviene en el modelo, principalmente: colector solar cuya área de captación es de 5,6 m², una bomba de calor con capacidad de producción de calor de 4,64 kW y tanque de acumulación de 300 L. Una vez simuladas todas las configuraciones propuestas se compararon los resultados obtenidos con los diferentes sistemas utilizados habitualmente, de lo cual se pudo determinar que el sistema de bomba de calor asistida por energía solar puede ahorrar hasta un 90% del consumo energético que tiene un sistema eléctrico. El análisis financiero realizado a los diferentes sistemas diseñados, determino que son viables económicamente. El sistema de bomba de calor asistida por energía solar obtuvo un VAN de 142,71 USD, un TIR del 4,21% y un tiempo de recuperación de la inversión inicial de 15 años.

Palabras clave: Agua caliente sanitaria, Bomba de calor, Colector solar, Consumo energético, TRNSYS.

ABSTRACT

In the city of Quito, due to the low environmental temperatures that occur, hot water (DHW) in a home is a key element for personal hygiene. The systems commonly used for this purpose consume high levels of electrical energy, so in this study a system was designed with a heat pump assisted by solar energy in order to analyze whether this system generates electricity savings in comparison with conventional systems and is feasible from the technical and economic points of view. This system was designed to meet the needs of ACS for a single-family home (6 people). The TRNSYS software was used to energetically simulate the different configurations of the DHW preparation systems. This software presents pre-designed elements that require technical data that were obtained from catalogs of manufacturers of the different equipment involved in the model, mainly: solar collector whose catchment area is 5,6 m², a heat pump with production capacity of 4,64 kW heat and 300 L accumulation tank. Once all the proposed configurations were simulated, the results obtained were compared with the different electrical systems usually used, from which it could be determined that the solar-assisted heat pump system can save up to 90% of the energy consumption of a system electric. The financial analysis carried out to the different designed systems, determined that they are economically viable. The solar-assisted heat pump system obtained a NPV of 142,71 USD, an IRR of 4.21% and a recovery time of the initial investment of 15 years.

Keywords: Domestic hot water, Heat pump, Solar collector, Energy consumption, TRNSYS.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA SANITARIA MEDIANTE BOMBA DE CALOR ASISTIDA POR ENERGÍA SOLAR PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA CIUDAD DE QUITO

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Quito la temperatura ambiente media mensual fluctúa entre los 7°C en la noche y los 24,2°C en el día (INAMHI, 2015). Este hecho da lugar a que el agua potable suministrada a las edificaciones presente una temperatura media de alrededor de 15°C (Cedeño, 2015), por lo que uno de los principales consumos de energía en una vivienda situada en la ciudad de Quito es el calentamiento de agua sanitaria (ACS). Se estima que en la región sierra alrededor del 60% de la energía consumida en el sector residencial se utiliza para las funciones de calentamiento de agua sanitaria, cocción de alimentos y refrigeración. Para el caso de cocción de alimentos y calentamiento de agua sanitaria la energía proviene en su mayoría de derivados del petróleo, siendo el producto más utilizado a nivel doméstico el gas licuado de petróleo (GLP), con un 52,7% (MICSE, 2015).

El alto consumo de recursos energéticos fósiles combinado con el incremento del costo de la energía eléctrica y el alto índice de contaminación ambiental, han incentivado a los gobiernos a implementar estrategias que generen fuentes de energía limpia no solo para satisfacer la demanda de los usuarios sino también para concientizar a las personas sobre sus efectos en el medio ambiente.

Con estos antecedentes y sabiendo que el consumo de energía en el sector residencial es alrededor del 12,4% del consumo energético nacional (MICSE, 2015), y que el uso de una bomba de calor para calentar agua consume entre una tercera y una cuarta parte de la energía eléctrica necesaria respecto a un sistema convencional (IDAE, 2016), se realizará un el diseño de un sistema ACS mediante bomba de calor asistida por energía solar para una vivienda unifamiliar de la ciudad de Quito.

Este proyecto se presenta como una solución para que el calentamiento de agua sea más eficiente energéticamente en relación a los sistemas convencionales, lo que a su vez supone un ahorro económico, una disminución en el consumo de combustibles fósiles y

una reducción del impacto ambiental. Además, se pretende fortalecer la investigación en el ámbito energético del Ecuador.

Este estudio pretende servir como referencia para proyectos de diseño e implementación de distintos tipos de sistemas de calentamiento de agua sanitaria amigables con el medio ambiente en el país.

Objetivo general

Diseñar y simular un sistema de calentamiento de agua mediante bomba de calor asistida por energía solar para una vivienda unifamiliar en la ciudad de Quito.

Objetivos específicos

- Analizar los sistemas de calentamiento de agua sanitaria actualmente usados en el Ecuador a través de encuestas y de una revisión bibliográfica.
- Determinar los parámetros que influyen en las prestaciones energéticas para los sistemas de calentamiento de agua sanitaria.
- Analizar y comparar energéticamente y económicamente los diferentes sistemas de ACS.
- Identificar la configuración más eficiente energéticamente para el calentamiento de agua sanitaria.

Pregunta de Investigación

En la ciudad de Quito, ¿resulta más eficiente energéticamente el empleo de sistemas de preparación de agua caliente mediante una bomba de calor asistida por energía solar?

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Situación energética del Ecuador.

El Ecuador dispone de abundantes recursos energéticos, siendo los principales el petróleo, la hidroelectricidad y la biomasa (Barbero & Montúfar, 2012).

El petróleo, ha sido la principal fuente de energía en el Ecuador desde el inicio de su explotación en 1967. Sin embargo, debido al cambio de la matriz energética propuesta por el gobierno en su afán de cumplir con los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir (asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica) ha incentivado y fortalecido el uso de las energías renovables, como es el caso de la hidroelectricidad, para lo cual se han puesto en marcha proyectos hidroeléctricos como: Coca Codo Siclar, Sopladora, Mazar y otros (Guaranda, 2010).

En el Ecuador el consumo energético ha tenido un incremento del 71% en los últimos 15 años, debido principalmente a un aumento de la población y al desarrollo de su economía. En la Figura 1.1 se puede observar la perspectiva de crecimiento poblacional a nivel nacional hasta el año 2050. Dado que, para un mejor bienestar de la población se requieren mayores servicios energéticos, esto implicaría un aumento del consumo energético en los próximos años.

1.1.1. Producción de energía en el Ecuador

El Ecuador hace una década (2010) se caracterizaba por ser un país netamente exportador de recursos energéticos, pero no autosuficiente en materia de energía. Con el cambio de la matriz productiva y las mejoras al sector energético para el 2015 la producción de energía final fue de 501.400 GWh, equivalente a 295 millones de Barriles de Petróleo Equivalente (BEP), sobrepasando la demanda de energía por sectores, que fue de 95 millones de BEP.

Según su origen la energía se clasifica en primaria y secundaria.

Energía primaria: Es la energía que se encuentra disponible en la naturaleza, no ha sido transformada y puede ser usada ya sea de forma directa como la energía hidráulica o solar e indirecta después de ser extraída como es el caso del petróleo (Barbero & Montúfar, 2012).

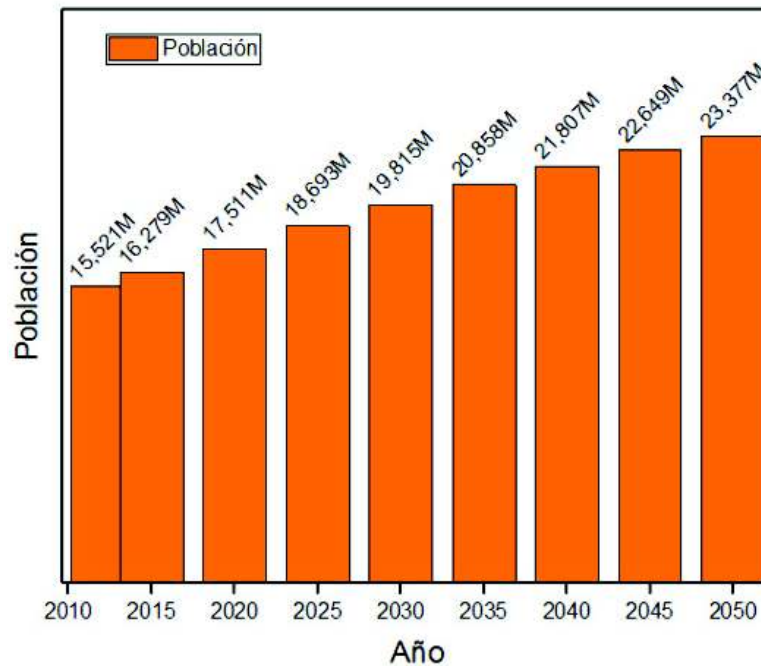


Figura 1.1 Perspectiva de crecimiento poblacional.
(Fuente: INEC, 2016)

El Ecuador dispone de las siguientes fuentes de energía primaria:

- Petróleo.
- Gas natural.
- Hidroenergía.
- Leña.
- Productos de caña.
- Energía solar.
- Energía eólica.

Según el último balance energético realizado por el ya extinto Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE), la producción de energía primaria al año 2015 fue de 225 millones de Barriles Equivalentes de Petróleo (BEP), del cual el 7% corresponde a energías renovables, el 4% al gas natural y el 88% al petróleo, como se observa en la Figura 1.2.

Energía Secundaria: Esta energía es el resultado de la transformación de la energía primaria, la cual proviene de diferentes centros de producción como refinerías o hidroeléctricas y se destinan a los diferentes sectores de consumo (Barbero & Montúfar, 2012).



Figura 1.2. Producción de energía primaria en el Ecuador.
(Fuente: MICSE, 2016)

El Ecuador dispone de las siguientes fuentes de energía secundaria:

- Fuel oil.
- Electricidad.
- Diésel oil.
- Gasolina.
- Kerosene.
- Gas licuado.

Según el último balance energético realizado por el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE), la producción de energía secundaria al año 2015 fue de 70 millones de Barriles Equivalentes de Petróleo (BEP), del cual el 27% corresponde a fuel oil, seguida por la electricidad con un 26 %, tal como se puede observar en la Figura 1.3. Cabe destacar que la oferta de electricidad de origen renovable ha tenido un gran incremento en el último año gracias a la inversión que el gobierno ha realizado en los Sectores Estratégicos con la creación de 8 hidroeléctricas alrededor del país.

1.1.2. Consumo de energía en el Ecuador

El consumo de energía en el Ecuador se puede dividir entre los siguientes sectores principales: el residencial, industrial, comercial y transporte.

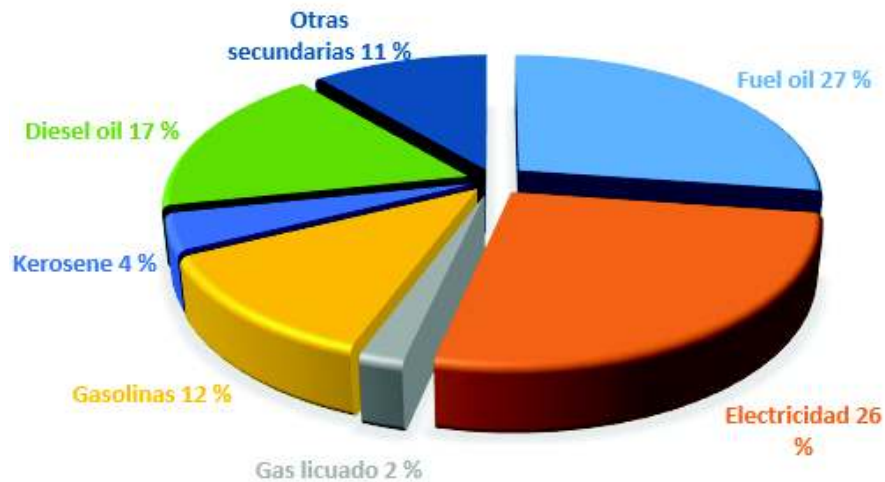


Figura 1.3. Producción de energía secundaria en el Ecuador.
(Fuente: MICSE, 2016)

El consumo por cada sector se ha ido incrementando debido a diferentes factores como el aumento del parque automotriz y del equipamiento doméstico (televisores, cocinas, etc.). En los últimos 15 años la demanda de energía ha aumentado en un 71%, siendo el sector del transporte el que más energía demanda, seguido por la industria y finalmente el sector residencial. En la Figura 1.4 se puede observar los porcentajes de demanda por cada sector en el Ecuador.

Dado que este proyecto se enfoca en las necesidades energéticas para la preparación de agua caliente y el consumo de agua en una vivienda, se estudiará principalmente al sector residencial.

Sector Residencial: El sector residencial, representó en el 2016 el 13% del consumo de energía a nivel nacional. Esto se explica debido al crecimiento de la población, el incremento de hogares y el mayor confort de los mismos. La mejora del nivel de calidad de vida en la población y los incrementos en el poder adquisitivo de la población, hace prever un alza significativa en la demanda energética en este sector en el futuro próximo.

El consumo en el sector residencial está cubierto en un 52% por gas licuado de petróleo, 35% electricidad y 13% de leña (MICSE, 2016). Actualmente con los programas implementados por el gobierno como: el cambio a cocinas de inducción o el uso de calentadores de agua eléctricos, la demanda de energía eléctrica anual ha tenido un incremento del 3% (CENACE, 2017). Por otra parte, la posibilidad de la eliminación al subsidio del GLP causaría que el consumo de electricidad sea mucho mayor en los hogares.



Figura 1.4. Demanda de energía por sectores en el Ecuador.
(Fuente: MICSE, 2016)

El Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), mediante estudios de consultorías, obtuvo los datos de los usos finales de la energía a nivel doméstico representados en la Figura 1.5.

Se puede observar que tanto para la costa y sierra la refrigeración representa alrededor de la mitad del consumo de energía final. Por otra parte, el calentamiento de agua en la región Sierra representa un 8% del consumo de energía final, siendo su uso muy bajo en la zona de la Costa.

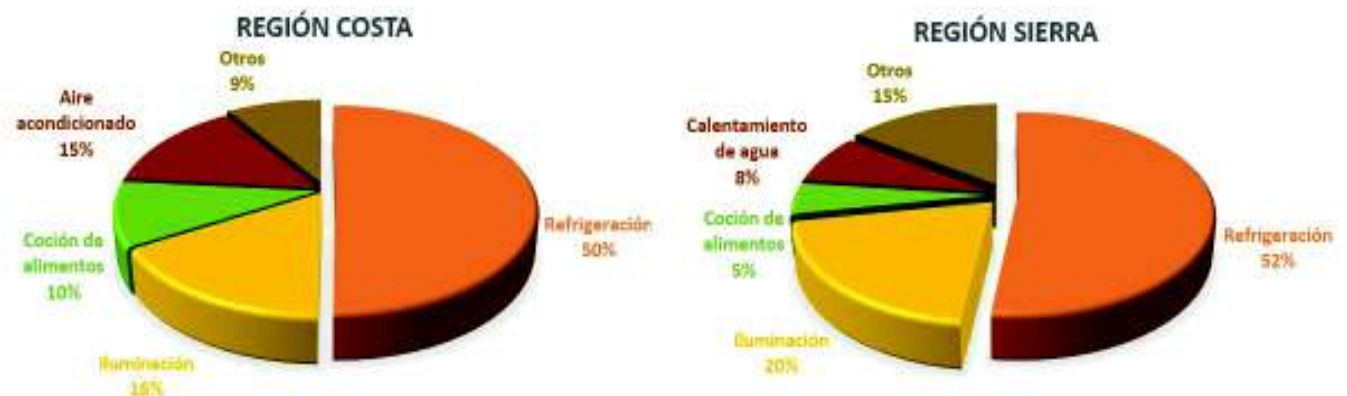


Figura 1.5. Usos finales de la energía a nivel doméstico.
(Fuente: ARCONEL & MEER, 2013)

1.2. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria

Un sistema de calentamiento de agua sanitaria (ACS) es aquel que suministra agua para el consumo humano sometida algún proceso de calentamiento. Consta de una serie de elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos que, configurados adecuadamente, son los encargados de elevar la temperatura del agua hasta el nivel requerido. Los sistemas de calentamiento cumplen la función de elevar la temperatura del agua de la red (10-18°C) hasta llegar a una temperatura de entre 37°C a 41°C (Villalta & Buñay, 2016).

Los sistemas de ACS se clasifican en dos grandes familias: calentadores instantáneos y calentadores acumuladores.

Calentadores instantáneos: Estos sistemas elevan la temperatura del agua a la temperatura requerida instantáneamente, es decir, al momento que se genera la demanda, no requieren de tanques de almacenamiento y son activados mediante resistencias eléctricas. Es el caso de la ducha eléctrica o quemadores como el calefón a gas (ATECOS, 2012).

- Ventajas
 - Ocupan poco espacio.
 - Son económicos.
 - Sencillos de instalar.

- Desventajas
 - Poco eficientes energéticamente, con un rendimiento de 40-60%.
 - Mayor consumo de agua hasta llegar a la temperatura deseada.
 - Para el uso de calefones a gas es necesario seguir estatus mínimos de instalación para evitar la intoxicación por CO.

Calentadores acumuladores: Estos sistemas elevan la temperatura del agua que se encuentra en el acumulador mediante un quemador a gas, resistencias eléctricas, captador solar térmico o intercambiadores de calor. El agua caliente se acumula en un tanque cuyo volumen depende de las necesidades de los usuarios. En estos sistemas la fuente de calentamiento se pone en marcha automáticamente cuando la temperatura baja de la temperatura previamente establecida. Pueden utilizar como fuente de energía el GLP, la electricidad, la energía solar, el carbón, etc. (ATECOS, 2012).

- **Ventajas**
 - Suministra agua caliente a una temperatura constante preseleccionada.
 - El agua acumulada se encuentra próxima a la temperatura de consumo por lo que se tiene menos pérdidas al momento del consumo.

- **Desventajas**
 - Los tanques de acumulación son grandes por lo cual estos sistemas ocupan un gran espacio.
 - Los tanques de acumulación deben estar bien aislados para reducir las pérdidas de calor.
 - Estos sistemas requieren de un tratamiento periódico para evitar la posible generación de legionelosis.

A continuación, se presentan algunos de los sistemas más comunes para la preparación de agua caliente.

1.2.1. Ducha eléctrica

La ducha eléctrica es un elemento de pequeñas dimensiones que se instala en el punto de consumo donde se requiere el agua caliente. Se alimenta a base de energía eléctrica, siendo su funcionamiento bastante sencillo, activándose mediante un detector de flujo o manualmente a través de un interruptor (Ayala & Donoso, 2015).

Consta de una resistencia que se encuentra dentro de la cavidad de la ducha, la cual por medio del efecto joule calienta el agua que circula por ella. Este sistema es uno de los más eficientes y costosos desde el punto de vista de la instalación eléctrica ya que demanda de mucha potencia para un tiempo de uso demasiado corto. La eficiencia energética de una ducha eléctrica se encuentra entre el 70 y 80% y puede alcanzar una temperatura máxima de calentamiento de agua de 40-45°C. (Villalta & Buñay, 2016).

En el esquema que se muestra en la Figura 1.6 se puede observar el funcionamiento de una ducha eléctrica y de sus principales elementos.

Una ducha eléctrica consume aproximadamente la misma cantidad de energía que 44 focos de 100 watts encendidos por una hora (4400 watts).

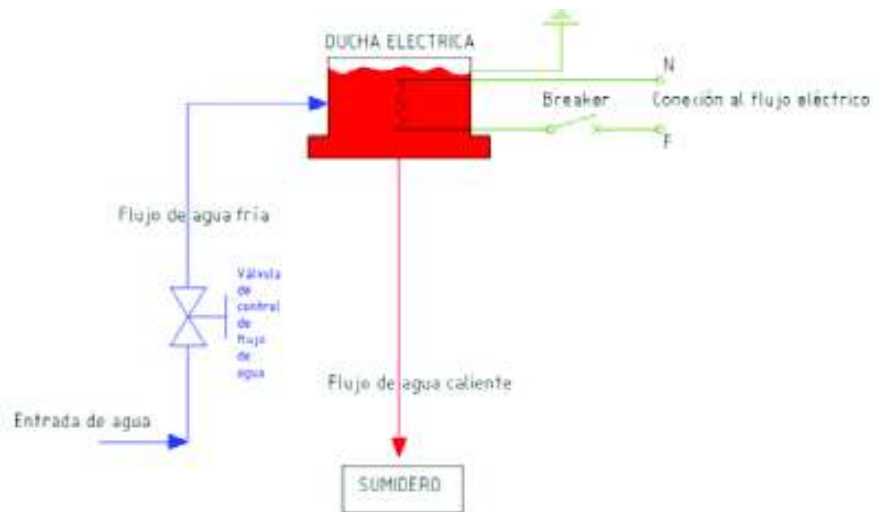


Figura 1.6. Esquema de funcionamiento de una ducha eléctrica.
(Fuente: Espin & Remache, 2011)

1.2.2. Calefón a gas

El calefón es un dispositivo termodinámico que utiliza energía térmica de un combustible para elevar la temperatura del agua. Básicamente el calefón transforma la energía química en energía térmica por medio de la combustión y esta energía térmica es transferida al agua fría mediante un intercambiador de calor entre los gases de combustión y el agua fría circulante.

En el esquema que se muestra en la Figura 1.7 se observa que ingresa agua fría (azul), la cual pasa por un sensor de caudal que se encarga de activar la pila para producir la chispa de activación y a su vez accionar la válvula de gas, produciéndose la combustión en la cámara de combustión. El serpentín es el encargado de intercambiar el calor entre la temperatura del quemador y el agua para que a la salida de la tubería sea agua caliente (rojo). Si deja de haber flujo de agua la válvula de gas se cerrará hasta que se vuelva a requerir agua caliente. (Saraguro & Silva, 2012).

Según la norma NTE INEN 2187, los calefones a gas tienen un rendimiento que varía con respecto al poder calorífico del GLP, es decir, si el poder calorífico es inferior el rendimiento mínimo que debe tener el calefón es de 84%.

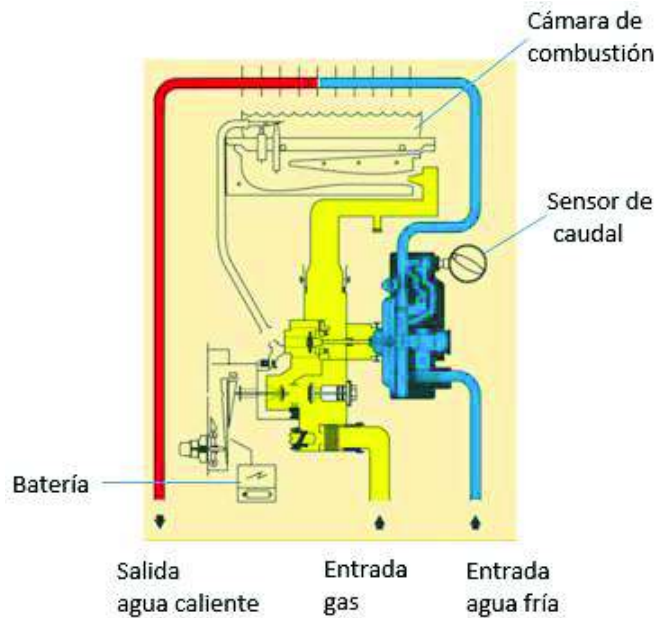


Figura 1.7. Esquema de funcionamiento de un calefón a gas.
(Fuente: JUNKERS, n.d.)

1.2.3. Calefón eléctrico

El calefón eléctrico es un dispositivo muy parecido en forma al calefón a gas, pero con dimensiones menores, por lo que se lo puede colocar en espacios reducidos cercanos a donde se requiere el agua caliente o a su vez se lo puede instalar directamente en el lugar del calefón a gas sin necesidad de hacer algún tipo de modificación en la instalación hidráulica (Tello, 2015).

Su funcionamiento es mediante resistencias eléctricas como se observa en la Figura 1.8, las cuales calientan el agua por efecto Joule. El número de resistencias dependerá del caudal que se requiera calentar. La potencia varía entre 6 a 27 kW dependiendo del caudal que se requiera para calentar el agua (Tello, 2015). La relativa elevada potencia requerida es uno de los grandes inconvenientes del sistema, ya que encarece la instalación eléctrica necesaria para suministrar dicha potencia con total seguridad y el costo del término fijo de la factura de electricidad. El otro inconveniente es que en el caso de aguas calcáreas se forman incrustaciones en las paredes metálicas en contacto con el agua dadas las elevadas temperaturas de las mismas. Con el tiempo estas incrustaciones provocan una reducción del caudal de agua disponible y un sobrecalentamiento de las resistencias eléctricas, que suelen dejar el equipo fuera de servicio.

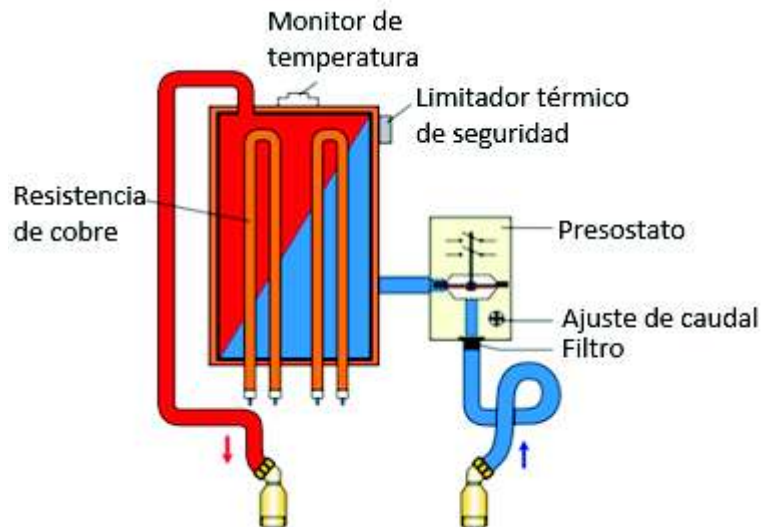


Figura 1.8. Esquema de funcionamiento de un calefón eléctrico.
(Fuente: STIEBEL, n.d.)

1.2.4. Sistema solar térmico

Son dispositivos utilizados para calentar un fluido mediante la conversión de la irradiación solar en energía térmica mediante el uso de un captador térmico. (Placco, Saravia, & Cadena, 2015).

Según el modo de funcionamiento, para el calentamiento de agua existen dos sistemas:

- **Circulación natural o termosifón**

Estos sistemas se basan en el efecto termosifón, que aprovechan la circulación natural del agua caliente que por naturaleza tiende a ascender, lo que hace que para la circulación no se requiera de una bomba de impulsión.

Como se puede observar en la Figura 1.9, el fluido caloportador entra al captador por la parte inferior, el cual gracias a la energía solar aumenta su temperatura y disminuye su densidad, por lo que tiende a ascender y salir por la parte superior del captador hacia el acumulador. Al disminuir la temperatura, disminuye la densidad y tiende a descender cerrando el circuito. (Corral, 2011)

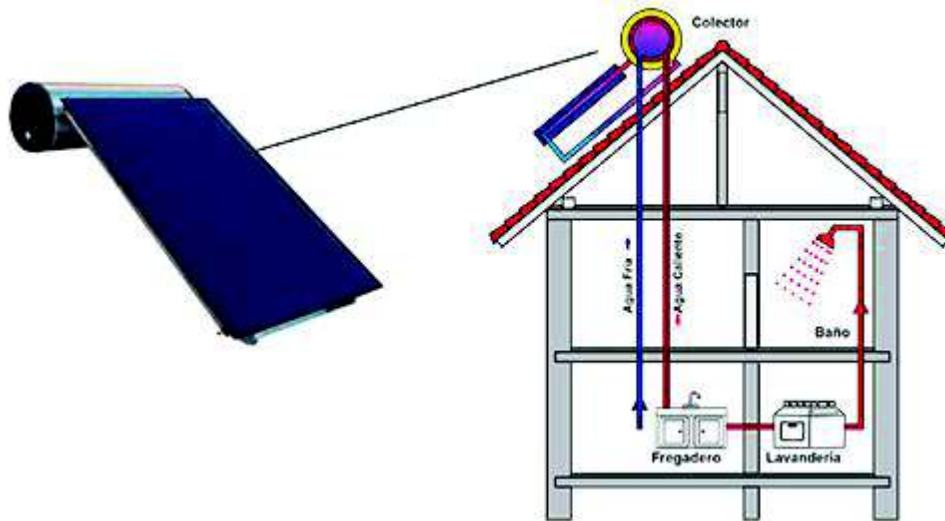


Figura 1.9. Esquema de funcionamiento del sistema térmico natural.
(Fuente: MINVU, n.d.)

- **Circulación forzada**

Los sistemas de circulación forzada incorporan entre sus elementos una bomba de impulsión, la cual se encarga de transferir el fluido más rápido evitando que se pierda la energía ganada por la radiación solar. Estos sistemas son muy usados en lugares donde la temperatura ambiente es baja donde cualquier pérdida de energía puede afectar la eficiencia del sistema (Chavarria, 2016).

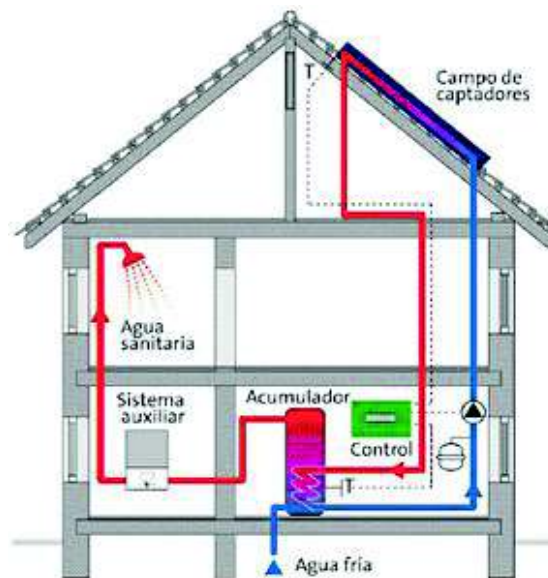


Figura 1.10. Esquema de funcionamiento de un sistema solar térmico.
(Fuente: (JUNKERS, n.d.))

Para cualquiera de los dos sistemas mencionados el captador solar es el elemento fundamental que se encarga de aprovechar la energía procedente del sol e introducirla al sistema en forma de calor. A nivel comercial existen dos tipos de captadores solares térmicos de baja temperatura:

- Captador de placa plana con cubierta y sin cubierta.
- Captador de tubos de vacío.

1.2.5. Bomba de calor

Es una máquina térmica capaz de transportar energía en forma de calor desde un ambiente externo a otro más caliente, con una gran eficiencia energética. Según el tipo de fuente energética del ambiente, las bombas de calor pueden aprovechar la energía del aire (aerotérmica), tierra (geotérmica) o agua (hidrotérmica) (véase Figura 1.11.). La energía absorbida del exterior entra a un ciclo termodinámico en el cual lo transfiere a un medio de interés tal como el depósito de agua caliente. La bomba de calor más común es la bomba de calor basada en un ciclo de compresión de vapor y utiliza un compresor activado eléctricamente, consumiendo aproximadamente una tercera parte de la electricidad de los sistemas basados en el efecto Joule. Esto equivale a decir que, consumiendo la misma energía eléctrica, la bomba de calor suministra 3 veces más calor que un sistema eléctrico basado en el efecto Joule, por lo que da lugar a un ahorro energético y económico considerable (IDAE, 2016).

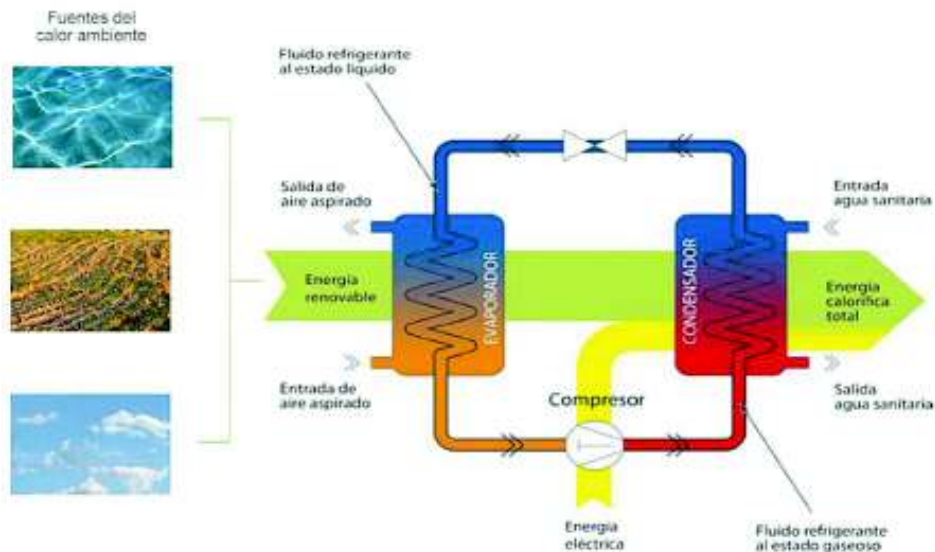


Figura 1.11. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor.
(Fuente: JUNKERS, n.d.)

1.2.6. Análisis comparativo de los sistemas de preparación de ACS

En la Tabla 1.1 se puede observar la comparación de las características principales los sistemas antes mencionados.

Tabla 1.1. Comparación de los sistemas de calentamiento de agua sanitaria.

/	Ducha eléctrica	Calefón a gas	Calefón eléctrico	Sistema solar térmico	Bomba de calor
Tipo de calentador	Instantáneo	Instantáneo	Instantáneo	Acumulador	Acumulador
Costo del equipo (\$)	> 20	>500	>100	>200	>800
Potencia (W)	3000-5500	18000-25000	6000-10000	1400 (2m ²)	250
Consumo (kWh/mes)	293	250	293	/	100
Eficiencia del equipo (%)	70-80	80-90	95	85-90	> 240
Temperatura max. de calentamiento (°C)	40-45	50-70	30-70	45-70	55-60
Mantenimiento	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año	Cada año

(Fuente: ACEEE, 2012)

Existen otros tipos de sistemas que se usan para calentar agua sanitaria. La *American Council for an Energy- Efficient Economy* (ACEEE) realizó un estudio comparativo entre varios sistemas de calentamiento de agua de lo cual obtuvo la información que se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Sistemas para ACS a nivel mundial.

Tipo de calentador de agua	Eficiencia del dispositivo de calentamiento
Acumulación por gas	0,6
Acumulación por gas alta eficiencia	0,65
De condensación por gas	0,86
Acumulación alimentada por fuel oil	0,55
Acumulación resistencia eléctrica	0,9
Acumulación resistencia eléctrica de alta eficiencia	0,95
Instantáneos a gas	0,82
Calentador con bomba de calor	2,2
Solar con resistencia de respaldo	1,2
Caldera de gaseol	0,97
Calentador a gas natural	0,97
Caldera de biomasa	0,91

(Fuente: ACEEE, 2012)

Con esta información se puede establecer que desde el punto de vista de eficiencia energética el uso de una bomba de calor es en términos generales la mejor opción para el calentamiento de agua sanitaria ya que presenta un mejor rendimiento energético en comparación a otros sistemas. Este rendimiento energético todavía puede ser mayor si se combina la tecnología solar con la bomba de calor, lo que también podría significar un importante ahorro en el consumo de energía eléctrica.

1.3. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria en el Ecuador

El uso de agua caliente sanitaria (ACS) en el sector residencial representa el 8% del consumo total de energía en una vivienda en la zona de la Sierra del Ecuador. El ACS se ha convertido en una necesidad básica en las viviendas ya sea para aseo personal y/o confort de los usuarios, por lo que en varios países se considera obligatorio la instalación de sistemas de ACS.

En el Ecuador los principales sistemas para calentamiento de agua sanitaria utilizados, especialmente en la región sierra, son la ducha eléctrica y el calefón a gas, tal como se muestra en la Figura 1.12.

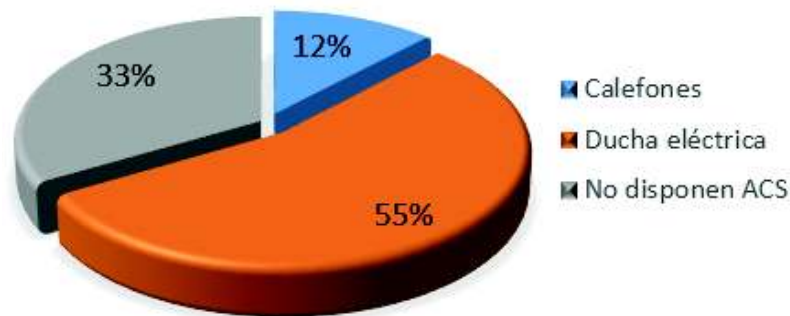


Figura 1.12. Agua caliente en los hogares ecuatorianos.
(Fuente: Manzano, 2011)

El porcentaje de hogares que no disponen de ACS en su mayoría corresponde a la región de costa ya que en esta región no es necesario este servicio. Otra parte de este porcentaje se debe a hogares con falta de servicios básicos por no disponer de recursos económicos.

Se estima que en el Ecuador existen 400.000 sistemas para calentamiento de agua sanitaria que utilizan calefón a gas, con un consumo promedio mensual de 1,5 cilindros de GLP por familia (Manzano, 2011), equivalentes a 250 kWh de energía térmica.

Por otro lado se estima que existen 1'800.000 duchas eléctricas para calentamiento de agua sanitaria, con un consumo promedio mensual de 76,5 kWh por familia (Velastegui, 2012).

No se conoce un dato exacto de cuantos sistemas solares térmicos se han instalado en el Ecuador, pero se sabe que el gobierno ecuatoriano implemento un proyecto en el cual se instaló 10.905 sistemas de energía solar térmica para agua caliente sanitaria en viviendas cofinanciadas con el bono de la vivienda otorgados a través del MIDUVI cuyo objetivo era evitar gastos al Estado por subsidio al GLP y electricidad utilizado en el calentamiento de agua (MEER, 2009).

1.4. Estudio de la bomba de calor asistida por energía solar para calentamiento de agua: Revisión

Una revisión de los estudios realizados sobre sistemas de calentamiento de agua mediante bomba de calor con asistencia solar que se han publicado en diferentes medios, se presentan a continuación las publicaciones más destacadas:

El prototipo diseñado por (Huang, Lee, & Chyng, 2005) para calentar agua mediante una bomba de calor y asistencia solar, se mejoró con un colector solar de tubería. Este sistema opera como bomba de calor cuando la radiación solar es baja y en modo tubo de calor cuando la radiación solar es alta. Las pruebas realizadas al prototipo demostraron que se puede alcanzar un COP de 3,32, un aumento del 28,7% en comparación con el modelo de bomba de calor que presentaba un COP de 2,58.

El estudio realizado por (Chata, Chaturvedi, & Almogbel, 2005) del rendimiento térmico de una bomba de calor asistida por energía solar utilizando diferentes tipos de refrigerantes puros, así como mezclas y dos configuraciones de colectores solares (con tapa y sin tapa). Se demostró que al utilizar refrigerantes puros se obtiene del 15 al 20% valores más elevados de COP, y se encontró que los refrigerantes R-12 y R410A muestra una eficiencia superior que el R-22 o R-134A y R407C o R404A respectivamente.

En el estudio realizado por (Keliang, 2009) muestra que un sistema de bomba de calor asistida por energía solar multifuncional de uso doméstico podría garantizar una operación a largo plazo en diferentes condiciones climáticas y que su costo de funcionamiento es relativamente bajo durante el año. El estudio le revelo que para el modo de solo

calentamiento de agua el sistema podría suministrar 200 litros o 1000 litros de agua caliente a diario con una temperatura final de 50°C.

En la investigación desarrollada por (Madani, Claesson, & Lundqvist, 2011) desarrollan un modelo matemático de un sistema de bomba de calor con fuente terrestre el cual consta de varios submodelos como la unidad de bomba de calor, la fuente de tierra, etc., y con la ayuda de dos softwares de simulación EES y TRNSYS resuelve dicho modelo matemático con el cual se puede evaluar una amplia gama de condiciones operativas y se pueden encontrar métodos más eficientes de control del sistema.

En un estudio desarrollado por (F. Suleman, 2014) se muestra un sistema integrado basado en bomba de calor y solar para el proceso de calentamiento de agua. Se realizan análisis exhaustivos de energía los cuales generaron algunos resultados convincentes como se esperaba debido al uso de fuentes de energía ecológicas. Los resultados muestran que la eficiencia de la energía del sistema es del 75% y el COP energético del ciclo de la bomba de calor es de 3,54

El estudio realizado por (Lerch, Heinz, & Heimrath, 2015) muestra que entre un sistema bomba de calor y un sistema bomba de calor mediante la integración de un sistema solar puede aumentar su rendimiento de 2,55 a 3,65 y con un consumo total de electricidad que se reduce en aproximadamente un 30%, ya que los colectores solares proporcionan calor principalmente durante la temporada cálida, cuando la bomba de calor funcionaría con una mayor eficiencia.

El enfoque de revisión de (Mahmut Sami Buker, 2015), se basa en un esquema de visualización para representar sistemáticamente y clasificar los conceptos de los sistemas de bomba de calor asistida por el sol (SAHP). Específicamente, los datos clave de rendimiento del número de estudios son muy detallados, se comparan varias configuraciones para obtener una comprensión intuitiva y profunda de los sistemas SAHP.

Como se puede observar en la revisión de estudios experimentales y teóricos el sistema bomba de calor asistido por energía solar tiene gran interés por parte de los investigadores que buscan mejorar el desempeño de este tipo de sistemas e identificar sus falencias para tenerlas en cuenta al momento de diseñar y poner en funcionamiento los equipos. Todos los estudios mencionados anteriormente han sido desarrollados en altas latitudes con una marcada diferencia climática entre el invierno y verano. Sin embargo, no hay estudios de

este tipo de sistemas en zonas ecuatoriales de altura como es el caso de la Sierra ecuatoriana, por lo que este estudio pretende analizar las prestaciones energéticas de estos sistemas en esta zona, así como su viabilidad económica.

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Levantamiento de información

Debido a que no se cuenta con información más específica sobre los hábitos de consumo de agua caliente y las tecnologías que se usan en la ciudad de Quito para el calentamiento de agua sanitaria, se procedió a realizar una encuesta para recopilar esta información.

2.1.1. Elaboración de la encuesta

La encuesta realizada consta de las siguientes características acorde a su metodología y técnica:

- La encuesta se la realizó vía on-line.
- Los datos se almacenaron en una hoja de Excel.
- Las personas encuestadas fueron únicamente aquellas que residen en la ciudad de Quito.
- Las personas a las que se realizó la encuesta fueron mayores de 18 años.
- La encuesta fue realizada a una persona por hogar.

El modelo de la encuesta se basó en preguntas necesarias para el desarrollo del estudio, las mismas que fueron puntuales y con respuestas concretas. El modelo de la encuesta se lo puede observar en el Anexo 1.

El análisis e interpretación de la encuesta realizada se presentan en el siguiente capítulo.

2.2. Selección del software de simulación

Debido a que diversas variables y parámetros influyen en el comportamiento de los sistemas energéticos que se van a modelar, es necesario utilizar una herramienta de cómputo que sea capaz de acoplar todos los elementos que conforman los sistemas, para así poder realizar simulaciones del comportamiento térmico de los sistemas expuestos a extensos periodos de tiempo. Gracias a las simulaciones que se realicen se obtendrán resultados del comportamiento del sistema sin la necesidad de recurrir a la experimentación.

Existen diversas herramientas computacionales que permiten realizar simulaciones energéticas. Para la adecuada selección del software de simulación, se procedió a realizar un breve estudio del funcionamiento de varios softwares que se caracterizan por su valioso aporte en el área de la energía solar y térmica.

2.2.1. Engineering Equation Solver (EES)

El programa EES fue desarrollado en la universidad de Wisconsin en 1989, se destaca en el ámbito de la ingeniería térmica. La función básica de este programa es la resolución de ecuaciones no lineales. Además, posee una gran cantidad de funciones para el cálculo de propiedades termofísicas. (Wen & Zmeureanu, 2015)

EES es particularmente útil para problemas de diseño en los que se deben determinar los efectos de uno o más parámetros.

Las ventajas del programa EES son:

- Permite trabajar con diferentes sistemas de unidades.
- Posee las propiedades térmicas de varios refrigerantes.
- Permite resolver más de 5000 ecuaciones al mismo tiempo.

Como desventaja del programa EES, se requiere de conocimiento de termodinámica y de programación.

2.2.2. TRaNsient SYstem Simulation Program (TRNSYS)

Trnsys es un software de simulación desarrollado en 1975, utilizado para el estudio e investigación del funcionamiento de sistemas a base de energía solar. Con el tiempo varios centros de investigación han realizado mejoras y actualizaciones a este software, por lo que en la actualidad nos permite realizar estudios de sistemas complejos integrando varios elementos que facilitan la elaboración de diseños requeridos. Comúnmente se lo utiliza para simular sistemas transitorios, es decir, sistemas cuyo comportamiento dependa del tiempo. Además, es utilizado como una herramienta de validación para nuevos sistemas energéticos como sistemas de calentamiento de agua, sistemas alternativos (eólica, solar, fotovoltaica, etc.). (TRNSYS, 2009)

Las ventajas del software Trnsys son:

- Fácil manejo

- Diseñado para predecir características técnicas de sistemas asistidos por energía solar.
- Cuenta con un componente de datos actualizado de radiación solar a nivel mundial.
- Capacidad de vinculación con diversos programas como el EES.

2.2.3. EnergyPlus

EnergyPlus nace en la década de los 70-80's como un programa de simulación de energía y análisis térmico, desarrollado en Fortran 90. Puede modelar sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado, plantas centrales, transferencia de calor en edificaciones y controles ideales. (Us Department Of Energy, 2010)

Este motor de simulación se basó en las mejores características de BLAST y DEO-2 que eran herramientas de simulación de energía y carga, desarrollados por el departamento de ingeniería de Estados Unidos. (Us Department Of Energy, 2010)

Las ventajas de EnergyPlus son:

- Este simulador es que entrega informes muy completos.
- Se puede simular cualquier tipo de edificación con todos sus elementos como son las bombas de calor, paneles fotovoltaicos etc.
- Es un software libre.

Como desventajas del programa EnergyPlus:

- Presenta alta complejidad al momento de introducir los datos
- Se requiere un extenso tiempo para familiarizarse con el formato del programa y se debe tener un control absoluto de la programación.

2.2.4. Modelica

Modelica es un lenguaje de programación abierto para modelado de sistemas orientado a objetos, que permite el modelado de elementos hidráulicos, mecánicos, eléctricos, térmicos entre otros.

Modelica fue desarrollado en 1996 con el fin de unificar varios lenguajes de modelado existentes en esas épocas ya que dichos lenguajes eran incompatibles y no podían

combinar sus elementos entre sí. Modelica permite simular sistemas de diferentes ramas de la ingeniería. (Molina, 2015)

Las ventajas de Modelica son:

- Es que es un software libre.
- Permite combinar procesos.
- Posee herramientas graficas incorporadas en el propio lenguaje.
- Cuenta con varias bibliotecas que disponen de varios elementos.

Como desventaja del programa Modelica, el lenguaje de programación es complicado ya que combina diferentes elementos como números, cadenas de caracteres, matrices, ecuaciones, funciones etc.

2.2.5. Matlab

Matlab es un software de alto rendimiento para realizar cálculos técnicos. Con Matlab estamos en la capacidad de crear nuestras propias herramientas para simulación.

Matlab dispone de librerías especializadas para diferentes ramas de la ingeniería como Thermolib, paquete de software que permite simular sistemas termodinámicos completos, de forma rápida simple y precisa. (Eutech, 2016)

Las ventajas de Thermolib son:

- Es que es un software diseñado para sistemas termodinámicos.
- Los sistemas se simulan a tiempo real.
- Posee bibliotecas con elementos prediseñados.

La desventaja principal del programa Thermolib, tiene un complicado lenguaje de programación.

En la Tabla 2.1 se presenta un resumen comparativo de los programas mencionados anteriormente.

Tabla 2.1. Comparación de los programas estudiados.

PROGRAMA	ALCANCE / CATEGORIA	DIFICULTAD DE USO	LICENCIA	COMENTARIOS
ENGINEERING EQUATION SOLVER(EES)	Plataforma de modelado y simulación	Medio / Alto	Programa comercial	No orientado a objetos
TRNSYS	Plataforma de modelado y simulación	Medio	Comercial	Amplia gama de componentes definidos
ENERGYPLUS	Plataforma de modelado y simulación	Medio / Alto	Software libre	Incluye modelos de equipos de refrigeración
MODELICA	Plataforma de modelado y simulación	Alto	Comercial y software libre	Diferentes herramientas disponibles
MATLAB (THERMOLIB)	Plataforma de modelado y simulación	Alto	Programa Comercial	No es desarrollado específicamente para sistemas termodinámicos

(Fuente: Propia)

Se ha optado por elegir el software TRNSYS para la simulación de nuestros sistemas energéticos, ya que resulta el más completo a la hora de predecir el comportamiento de diferentes sistemas de calentamiento de agua; pudiendo a su vez permitir la integración de demanda térmica y comportamiento del sistema. Además, ofrece modelos predefinidos y validados para la gran mayoría de sistemas térmicos, asegurando un comportamiento satisfactorio.

2.3. Regresión lineal múltiple para modelamiento de la bomba de calor

La regresión lineal múltiple es una técnica utilizada en estadística para explicar el comportamiento de una variable (respuesta) que está en función de una o más variables predictoras, se usa comúnmente como modelos empíricos o como funciones de aproximación a la ecuación verdadera desconocida.

Supongamos que una variable Y depende de ciertas variables $X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$ (Se toma como inicio la variable X_2 ya que la variable X_1 se la reserva para el termino constante). La

relación exacta entre las variables Y y X_n se desconoce pero se supone que pertenecen a la misma familia F que se denomina modelo (Lozano, 2007).

$$F = (Y = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad \text{Donde} \quad \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n \in R) \quad (\text{Ec. 1})$$

Las variables X_n son variables no aleatorias y sus valores pueden ser fijados en base a la necesidad del experimentador. Las variables β_n son variables desconocidas, no aleatorias y que serán calculadas a partir de las variables independientes X_n .

La estimación de los parámetros en los modelos de regresión lineal se la realiza a través del método de los mínimos cuadrados, que consiste en elegir las variables β_n de la Ecuación 1, de tal modo que la suma de los cuadrados de los errores se minimice.


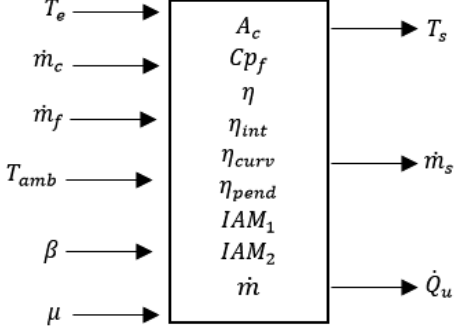

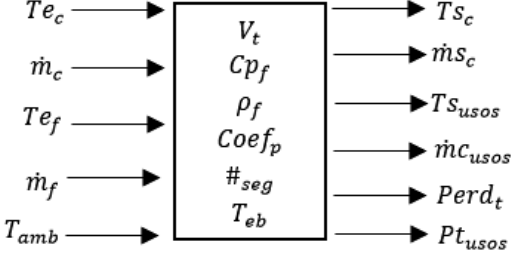

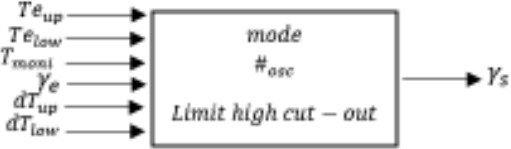

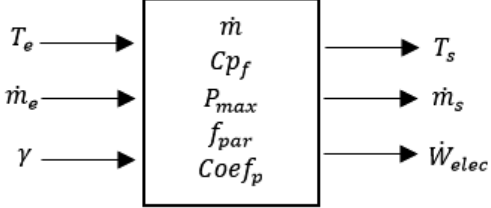
Para poder describir la fuerza de la relación lineal entre la variable dependiente Y y las variables independientes X_n , se utiliza el coeficiente de determinación R^2 . El valor de R^2 , está en el rango de $0 \leq R^2 \leq 1$, y mientras más se aproxime R^2 a uno, se considera que el modelo es aceptable; mas no que el modelo sea adecuado (Lozano, 2007).


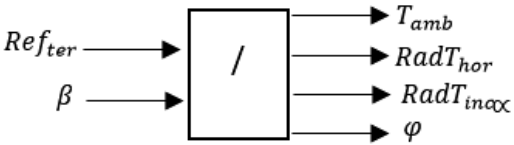

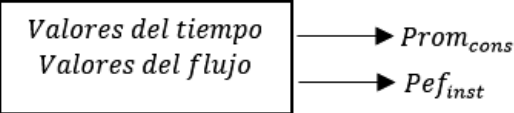

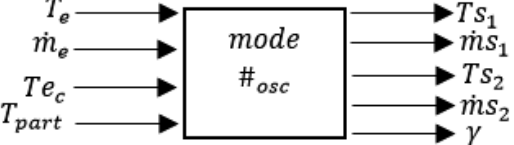

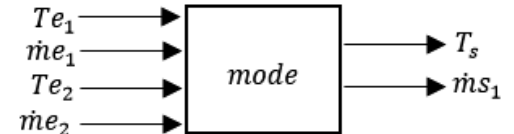

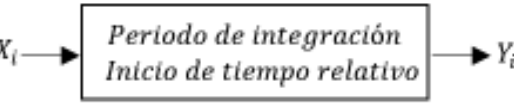


Se ha explicado la regresión lineal múltiple de forma general, adicional a esto es necesario explicar cómo se va a aplicar a la bomba de calor. Para determinar las expresiones de correlación múltiple de la potencia calorífica en el condensador de la bomba de calor (\dot{Q}_{cond}) y del coeficiente de rendimiento (COP) se tomaron los valores de un estudio realizado por (Chen, Wang & Shuanghua, 2010).



2.4. Entorno de simulación TRNSYS

Para el modelado se utilizó el software TRNSYS que dispone de la interface gráfica *Simulation Studio*. Los elementos comúnmente conocidos en TRNSYS como Types son configurados con la información técnica adecuada para su funcionamiento. En la Tabla 2.2, se detallan los elementos con sus características que se utilizaron para la simulación de los sistemas propuestos.

Tabla 2.2. Descripción de los Types utilizados.

Nombre	Icono/Type	Descripción	Parámetros Entradas - Fijos – Salidas
<p>Quadratic Efficiency Collector</p>	 Type 1b	<p>Este componente modela el comportamiento térmico de un colector solar térmico de placa plana.</p>	
<p>Variable Inlets-Uniform Losses</p>	 Type 4c	<p>Este componente modela el comportamiento de un tanque de almacenamiento estratificado. Se considera que el fluido entra al depósito en una posición fija por la parte baja entra el agua fría y por la parte superior sale el agua caliente.</p>	
<p>Differential Controller w_Hysteresis</p>	 Type 2b	<p>El controlador diferencial ON/OFF genera una función de control que puede tener un valor de 0 o 1 en base a una diferencia de temperaturas. Su función principal es regular el arranque o paro de las bombas en función de la necesidad del usuario.</p>	
<p>Single Speed Pump</p>	 Type 3b	<p>Este componente modela una bomba de velocidad constante. Es capaz de mantener constante el caudal de salida del fluido. Usa una señal de control cuyo valor debe estar comprendido entre 0 y 1, el flujo de la bomba es determinado por el usuario.</p>	

<p>Weather Data Reading and Processing</p>	 Type 109	<p>Este componente sirve para leer datos climatológicos de una determinada zona geográfica, además calcula la irradiación solar en la superficie inclinada a partir de la irradiación solar horizontal.</p>	
<p>Water Draw</p>	 Type 14b	<p>Este componente modela el comportamiento de una función forzada para un patrón repetitivo de consumo de agua caliente, el patrón se repetirá N horas donde N es un valor de tiempo específico.</p>	
<p>Temperature controlled flow diverter</p>	 Type 11b	<p>Este componente simula la operación de un desviador de flujo con una entrada que se divide proporcionalmente entre dos salidas posibles, dependiendo del valor del control de entrada.</p>	
<p>Tee-Piece Flow Mixer</p>	 Type 11h	<p>Este componente simula la función de una pieza en T que mezcla completamente dos corrientes de entrada del mismo fluido a diferentes temperaturas.</p>	
<p>Quantity Integrator</p>	 Type 24	<p>Este componente permite integrar series de cantidades durante un periodo de tiempo, cada Quantity Integrator puede tener hasta 500 entradas.</p>	
<p>Online Plotter Without File</p>	 Type 65d	<p>Este componente permite mostrar las variables seleccionadas de un sistema mientras la simulación avanza. Es muy útil ya que permite visualizar si un sistema está funcionando correctamente.</p>	

<p><i>Equations</i></p>		<p>En este componente se pueden programar ecuaciones y hacer cálculos intermedios en una simulación.</p>	<p>Condiciones de entrada → Formulas definidas por el usuario → Resultados</p>
<p><i>Printer – No Units</i></p>	 <p>Type 25c</p>	<p>Este componente se lo utiliza para generar archivos con las variables seleccionadas de un sistema en tiempos específicos.</p>	<p>Entradas para ser impresas → Intervalo de impresión Tiempo de inicio Tiempo final</p>

(Fuente: Propia)

En *Simulation Studio* existe un tablero de trabajo para el diseño del sistema en donde se visualizan los componentes que se van a utilizar para armar el sistema. Cada uno de estos componentes es configurado con la información técnica adecuada para su correcta integración al sistema.

En la Figura 2.1 se observa los principales elementos agregados al tablero de trabajo para la simulación de los sistemas.

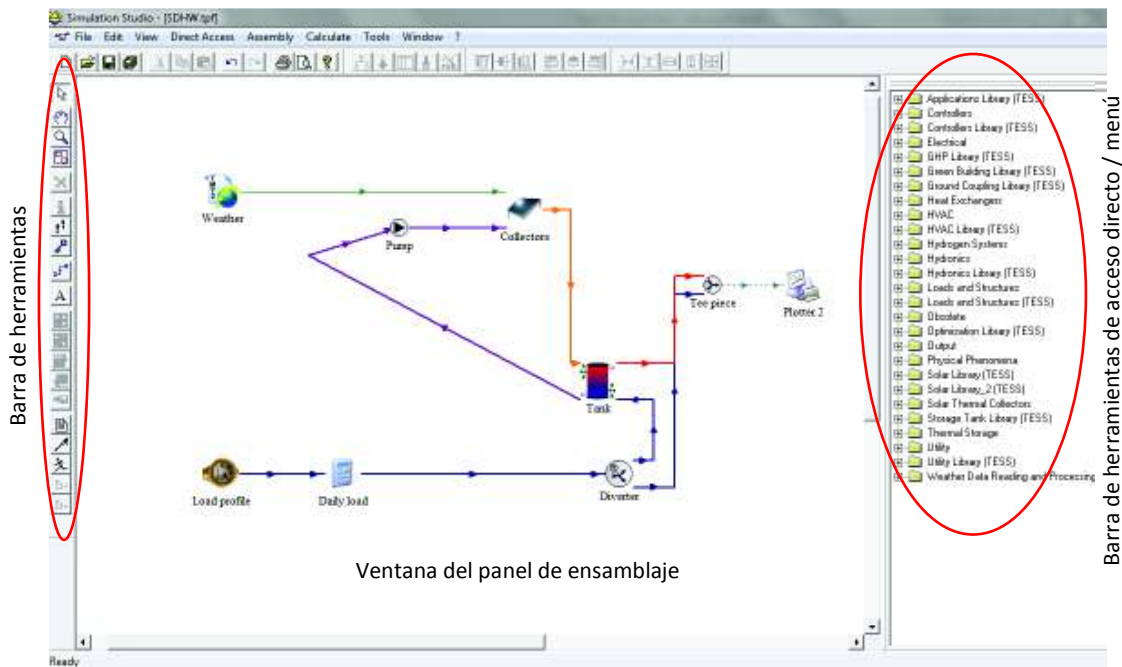


Figura 2.1. Hoja de trabajo al iniciar el diseño en Simulation Studio.
(Fuente: Propia)

En la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de la interfaz que utiliza *Simulation Studio* para la interconexión de los parámetros en los módulos. En la columna de la izquierda están las variables de salida y en la derecha se observan las variables de entrada del módulo con el que se va a interconectar.

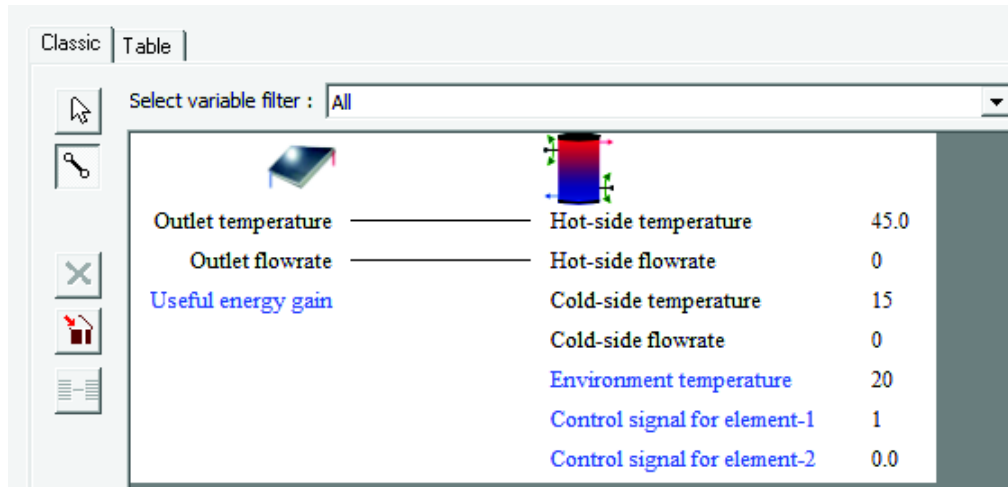


Figura 2.2. Interfaz para la conexión de Types en Simulation Estudio.
(Fuente: Propia)

En la Figura 2.3 se indica cómo se introducen los parámetros dentro de un Type, mostrándose el aspecto que tiene en TRNSYS las ventanas para introducir dichos parámetros.

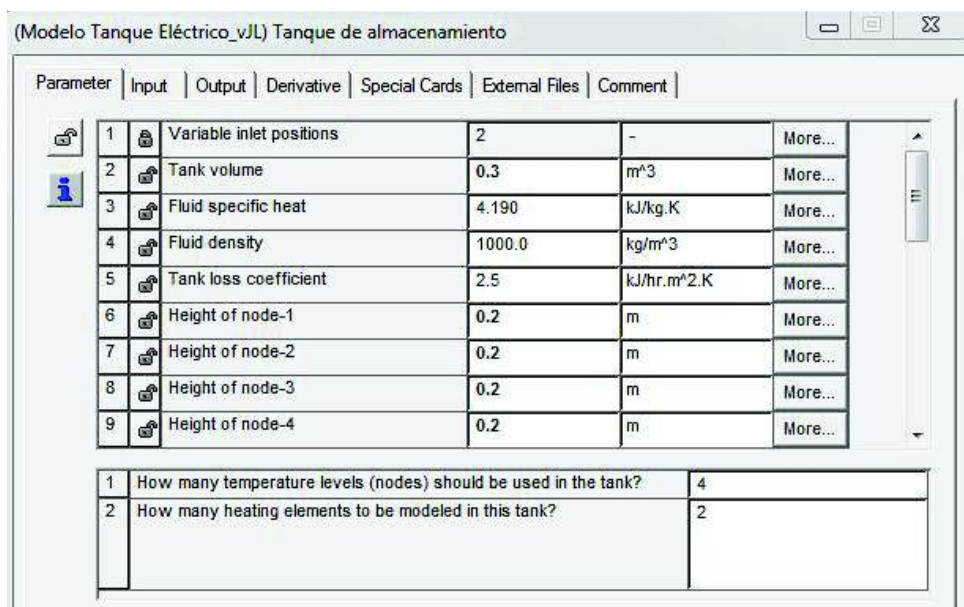


Figura 2.3. Parametrización de Types.
(Fuente: Propia)

Aparecen varias pestañas, en este caso la de los parámetros donde se puede introducir valores que no van a variar con el tiempo como son: eficiencias, áreas, pérdidas etc. aparecen otras pestañas como las de entradas y salidas cuyos valores si varían con el paso del tiempo y además están asociadas a otros Types, por ejemplo, las salidas del colector solar son las entradas del tanque de acumulación.

Para los captadores solares y los tanques de acumulación se usaron parámetros de catálogos de fabricantes que se los pueden apreciar en el Anexo 5.

2.5. Indicadores de rentabilidad de los sistemas

El VAN y TIR son dos indicadores financieros procedentes de las matemáticas financieras que nos permiten evaluar la rentabilidad de un proyecto.

2.5.1. Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es uno de los métodos más aceptados para conocer la rentabilidad de una inversión. Mide los flujos de los ingresos y egresos que tendrá una inversión, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, queda una ganancia. Si nuestra inversión obtiene un VAN > 0 sabremos que en términos económicos es rentable (Cedeño, 2015).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

V_t : Flujos de caja en cada periodo t

I_0 : Inversión inicial

k : Tipo de interés

n : Número de periodos

2.5.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es un porcentaje que mide la viabilidad de un proyecto, determinando la rentabilidad de los cobros y pagos actualizados generados por una inversión.

El TIR realiza el mismo cálculo llevando el VAN a cero, por lo cual el resultado de esta ecuación da por resultado un porcentaje, que luego será comparado con el porcentaje de interés que se haya definido como más seguro (Cedeño, 2015).

$$TIR = VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + k^t)} - I_0 = 0 \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

V_t : Flujos de caja en cada periodo t

I_0 : Inversión inicial

k : Tipo de interés

n : Número de periodos

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la encuesta

Una vez aplicado los métodos de recolección de datos se obtuvieron los siguientes resultados.

3.1.1. Población

Esta investigación se realizó mediante la obtención de datos de viviendas de los sectores norte, centro, sur y valle perteneciente a la ciudad de Quito.

El INEC en el último censo poblacional en el año 2010 presentó que en el cantón Quito en los cuatro sectores antes mencionados se tiene una población de 2'239.908 habitantes. Según el INEC por cada vivienda se estima que hay 3,49 personas, por lo que se estima que Quito disponía de unos 640.753 hogares en el año 2010.

3.1.2. Muestra

Se seleccionó un muestreo probabilístico aleatorio simple debido a que se tiene el número de habitantes totales en la ciudad de Quito es un número finito y en la cual se obtiene la información necesaria para la investigación.

Para lo cual se puede calcular el tamaño de muestra mediante la siguiente fórmula con sus respectivos parámetros y valores correspondientes:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2(N - 1)) + k^2 * p * q} \quad (\text{Ec. 4})$$

n: Tamaño de la muestra

N: Tamaño de la población; N=640.753 hogares

k: El nivel de confianza que se le asigne. Se tomó el 95% por lo que el K=1,96

p: probabilidad de ocurrencia 0,5

q: probabilidad de no ocurrencia 0,5

e: error muestral que se tomó del 3%

El tamaño de la muestra calculado a partir de la Ecuación 2.

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5 * 640753}{(0,03^2(640753 - 1)) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

$$n = 1065 \text{ Hogares}$$

A continuación, se presenta los resultados de la encuesta realizada a 1.065 hogares de los sectores norte, sur, centro y valle de la ciudad de Quito.

Pregunta 1. ¿Cuántas personas viven en su hogar?

Según se puede observar en la Figura 3.1 los porcentajes más elevados se encuentran entre las opciones de 2 a 4 y de 4 a 6 personas por hogar con 59,2 % y 29 % respectivamente, lo que da un promedio aproximado de 4 personas por vivienda, este valor concuerda con el valor del censo poblacional realizado por el INEC en el 2010. Este valor nos permitirá conocer el consumo energético de la población en estudio.

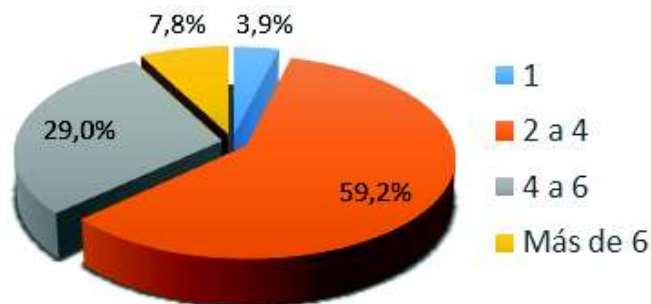


Figura 3.1. Número de personas que residen en una vivienda en la ciudad de Quito.
(Fuente: Propia)

Pregunta 2. ¿El tipo de vivienda en la que Ud. reside es?

En la Figura 3.2 se puede observar que un gran porcentaje de la población 63,5 % vive en casa, seguido de un 32,2 % que viven en departamento. Cabe mencionar que la vivienda puede ser propia o arrendada.

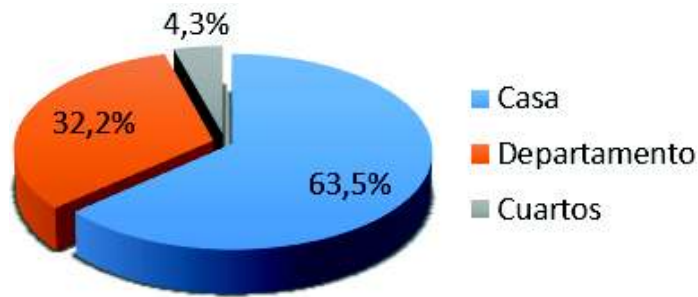


Figura 3.2. Tipo de vivienda.
(Fuente: Propia)

Pregunta 3. ¿Sector de la ciudad de Quito donde reside?

Esta pregunta se la realizó con el fin de distribuir la encuesta por todo el Distrito Metropolitano de Quito. Se puede observar en la Figura 3.3 que las respuestas se reparten de forma equitativa entre los Valles, Norte y Sur con aproximadamente 30% de las respuestas cada zona. El número menor de respuestas se obtuvo en el Centro con el 11 % restante. Cabe mencionar que se consideró como Quito hasta el puente 9 (Conocoto, La Armenia).

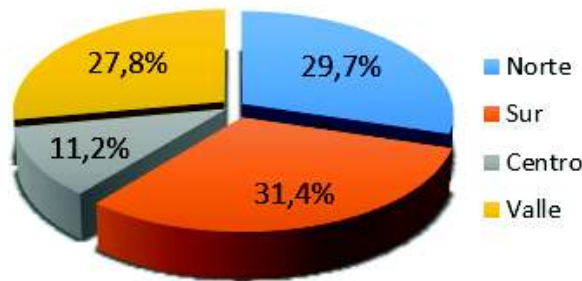


Figura 3.3. Sector de residencia.
(Fuente: Propia)

Pregunta 4. ¿Qué tipo de sistema usan para calentar el agua?

Según la encuesta el sistema que más se utiliza en la ciudad de Quito para el calentamiento de agua es la ducha eléctrica con un 58,1 %, seguido por el calefón a gas por un 34,6 %, calefón eléctrico un 3,7% y con porcentajes inferiores al 1,5% los sistemas solares térmicos, los sistemas centralizados y otros.

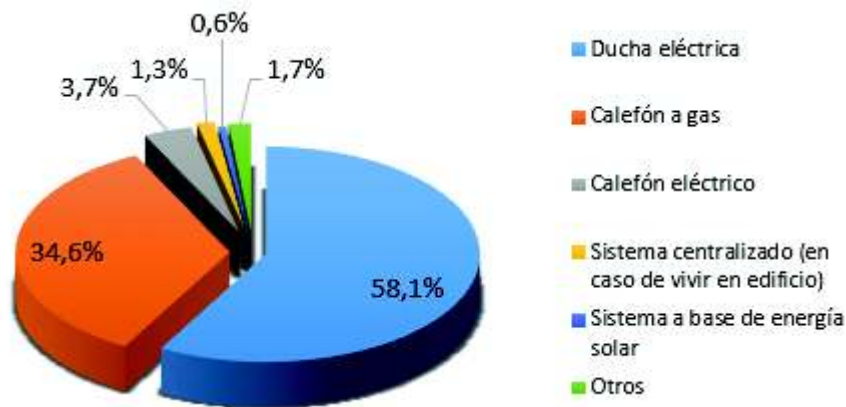


Figura 3.4. Sistema utilizado para el calentamiento de agua sanitaria.
(Fuente: Propia)

Pregunta 5. ¿Aproximadamente que tiempo se demoran en ducharse?

Sabiendo que en una vivienda la ducha es el dispositivo que más agua caliente consume, se consultó el tiempo estimado de uso de la ducha, de lo cual se obtuvo que un 59,6 % de la población tiende a tomar duchas de 10 a 15, 29.5% menos de 10 minutos y un 10,9% más de 20 minutos. Este dato puede ser de gran valor para estimar el volumen de agua que usa para dicha actividad.

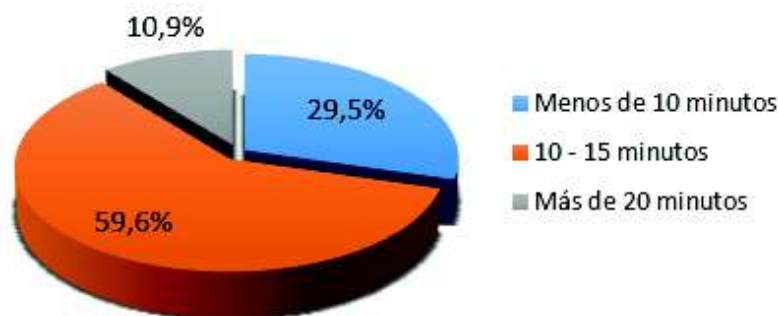


Figura 3.5. Tiempo aproximado para ducharse.
(Fuente: Propia)

Pregunta 6. ¿Cuántas veces se duchan a la semana?

En la Figura 3.6 se puede observar que un 44,2 % de las personas encuestadas se duchan más de 6 veces a la semana, el 28,7 % de 3 a 4 veces y el 27 % 5 veces. En promedio las personas se duchan 5 veces a la semana. Con este dato se podrá estimar el consumo de agua caliente a la semana y al mes en una vivienda.

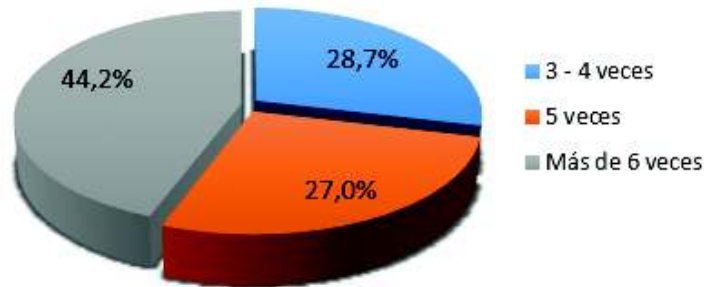


Figura 3.6. Número de veces que se ducha a la semana.
(Fuente: Propia)

Pregunta 7. En el caso de usar calefón a gas ¿Cuántos cilindros de gas utiliza al mes?

En la Figura 3.7 se puede observar que un 47,8 % de la población consume un cilindro de gas al mes seguido de un 37,1 % que consume 2 cilindros lo que nos da un promedio de 1,72 cilindros de gas consumidos al mes en una vivienda de la ciudad de Quito.

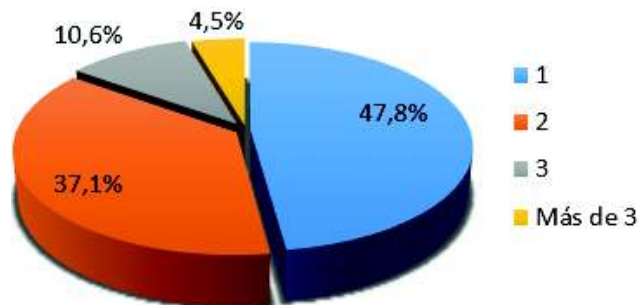


Figura 3.7. Consumo de GLP al mes.
(Fuente: Propia)

Pregunta 8. En el caso de usar ducha eléctrica, calefón eléctrico o usar el sistema centralizado de calentamiento de agua, ¿Cuánto paga por el servicio al mes?

Es importante conocer el consumo de energía eléctrica en una vivienda sin importar el tipo de sistema para calentar agua que posean, en la Figura 3.8 se observa que el 38,1 % de las personas pagan de 10 a 20 dólares seguido por el 18,9 % pagan menos de 10 dólares.

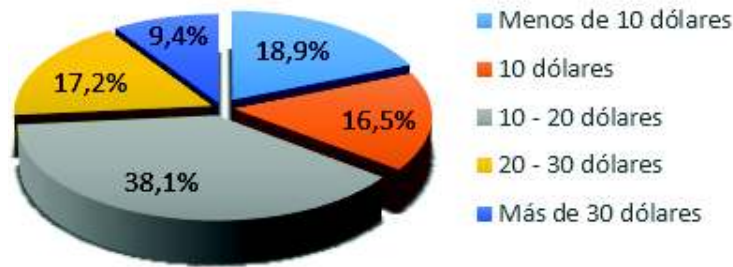


Figura 3.8. Costo mensual de energía eléctrica en una residencia de la ciudad de Quito.
(Fuente: Propia)

3.1.3. Resumen de la encuesta realizada

Según los datos obtenidos de la encuesta, la población opta por ducharse con agua caliente debido a las bajas temperaturas ambientales que se registran en Quito, siendo la ducha eléctrica con un 58,1% en comparación con otros sistemas el sistema más usado para calentar el agua en la ciudad de Quito.

Los hogares de la ciudad de Quito están conformados por un promedio de 6 personas que en más de un 70% se duchan 5 o más veces a la semana un promedio de 15 minutos diarios, lo que genera una demanda energética importante e influye directamente en la economía de la familia.

El consumo promedio de GLP para calentamiento de agua sanitaria demanda de 1,72 cilindros por mes en los hogares que usan calefón a gas. Este es el segundo sistema más utilizado debido a que el gobierno subsidia fuertemente el GLP, aunque es necesario remarcar que el subsidio solo es para el uso del GLP en cocinas y por lo tanto es ilegal el uso de gas subsidiado para ACS. Si no se usara este subsidio de forma irregular otros sistemas térmicos para la preparación de ACS resultarían competitivamente más económicos.

3.2. Obtención del modelo de bomba de calor por medio de regresión lineal

3.2.1. Objetivo del modelo

Para este estudio se requiere de las ecuaciones de la potencia calorífica y del coeficiente de rendimiento que estimen el comportamiento de una bomba de calor, cuyo sistema es de aire-agua, para esto se utilizó datos obtenidos de un catálogo de fabricante.

El objetivo de este análisis de regresión lineal, es la estimación de coeficientes de las dos ecuaciones antes mencionadas.

3.2.2. Obtención de datos para generación de modelo

Los parámetros de los cuales se obtuvo la información para generar el modelo de la bomba de calor aire – agua se los obtuvo del estudio realizado por (Chen, Wang & Shuanghua, 2010).

En este estudio se presentan gráficas en las que podemos encontrar las características relevantes de la bomba de calor. A partir de estas graficas se obtuvo los datos de potencia calorífica en el condensador (\dot{Q}_{cond}), la temperatura del aire ambiente (T_{aire}), la temperatura de salida de agua del condensador (T_{cond}), y el coeficiente de rendimiento (COP), datos que se utilizaran para obtener las ecuaciones que estimen el modelo matemático de la bomba de calor aire-agua. En el Anexo 2 podemos encontrar un fragmento de este estudio en donde se muestran las gráficas utilizadas.

3.2.3. Definición de las variables del modelo

Se tomó como variable dependiente la potencia calorífica en el condensador (\dot{Q}_{cond}), para la primera ecuación y el COP para la segunda ecuación y como variables independientes a las temperaturas mencionadas anteriormente. De esta manera se obtiene las ecuaciones 3 y 4 para este caso.

Modelo bomba de calor aire-agua.

$$\dot{Q}_{cond} = \beta_1 + \beta_2 * T_{aire} + \beta_3 * T_{cond} + \beta_4 * T_{aire}^2 + \beta_5 * T_{cond}^2 + \beta_6 * T_{cond} * T_{aire} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$COP = \beta_1 + \beta_2 * T_{aire} + \beta_3 * T_{cond} + \beta_4 * T_{aire}^2 + \beta_5 * T_{cond}^2 + \beta_6 * T_{cond} * T_{aire} \quad (\text{Ec. 6})$$

3.2.4. Ajuste del modelo de regresión

Utilizando la herramienta de Regresión de Análisis de Datos, en una hoja de cálculo de Excel podemos calcular los coeficientes de regresión:

Para la potencia calorífica (\dot{Q}_{cond}) se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3.1. Coeficientes potencia calorífica.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	3,4193	0,6343	5,3906	0,0125	1,4006	5,4379
T_cond	0	0	65535	-	0	0
T_aire	-0,0129	0,1159	-0,1114	-	-0,3818	0,3559
(T_cond) ²	0,0004	0,0002	2,0200	0,1367	-0,0003	0,0011
(T_aire) ²	0,0004	0,0007	0,5613	0,6138	-0,0019	0,0026
T_cond*T_aire	0,0029	0,0022	1,3314	0,2752	-0,0041	0,0099

(Fuente: Propia)

En este caso el coeficiente de determinación $R^2 = 0,9959$, (ver Anexo 3) un valor muy próximo a 1, lo que indica que el modelo es aceptable.

Por lo tanto, reemplazando los datos en la Ecuación 5 se construyó la ecuación de regresión que buscamos:

$$\dot{Q}_{cond} = 3,41 - 0,012 * T_{aire} + 0,00039 * T_{aire}^2 + 0,00046 * T_{cond}^2 - 0,0029 * T_{cond} * T_{aire}$$

Para el coeficiente de rendimiento (COP) se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3.2. Coeficientes del COP.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	2,6608	0,3353	7,9345	0,0041	1,5936	3,7281
T_cond	0	0	65535	-	0	0
T_aire	0,0874	0,0612	1,4269	-	-0,1075	0,2824
(T_cond) ²	-0,0003	0,0001	-2,4889	0,0885	-0,0006	8,3787E-05
(T_aire) ²	-0,0001	0,0003	-0,2785	0,7986	-0,0012	0,0010
T_cond*T_aire	-0,0009	0,0011	-0,8514	0,4570	-0,0046	0,0027

(Fuente: Propia)

En este caso el coeficiente de determinación $R^2 = 0,9803$, (ver Anexo 3) un valor muy próximo a 1, lo que indica que el modelo es aceptable.

Por lo tanto, reemplazando los datos en la Ecuación 6 se construyó la ecuación de regresión que buscamos:

$$COP = 2,66 + 0,087 * T_{aire} - 0,000104 * T_{aire}^2 - 0,00030 * T_{cond}^2 - 0,00098 * T_{cond} * T_{aire}$$

Las ecuaciones construidas representan la bomba de calor, las cuales se programarán en un componente de TRNSYS capaz de realizar cálculos inmediatos.

3.3. Cálculo de las necesidades energéticas

3.3.1. Perfil de consumo

El perfil de consumo de ACS muestra que entre la 1 y 6 horas se presenta un promedio de consumo de agua de 1.9L, este valor está asociado quizás a fugas presentes en las instalaciones hidráulicas de la vivienda, a partir de las 7 horas se inicia las actividades que conllevan el uso de agua incrementando el consumo y se observa el primer pico hasta 12 horas con el mayor caudal a las 10 horas con 8.2L (Figura3.9). El segundo pico se presenta las 19 y 20 horas, denotando cierta disminución en el consumo hasta 1.9L al final del día.

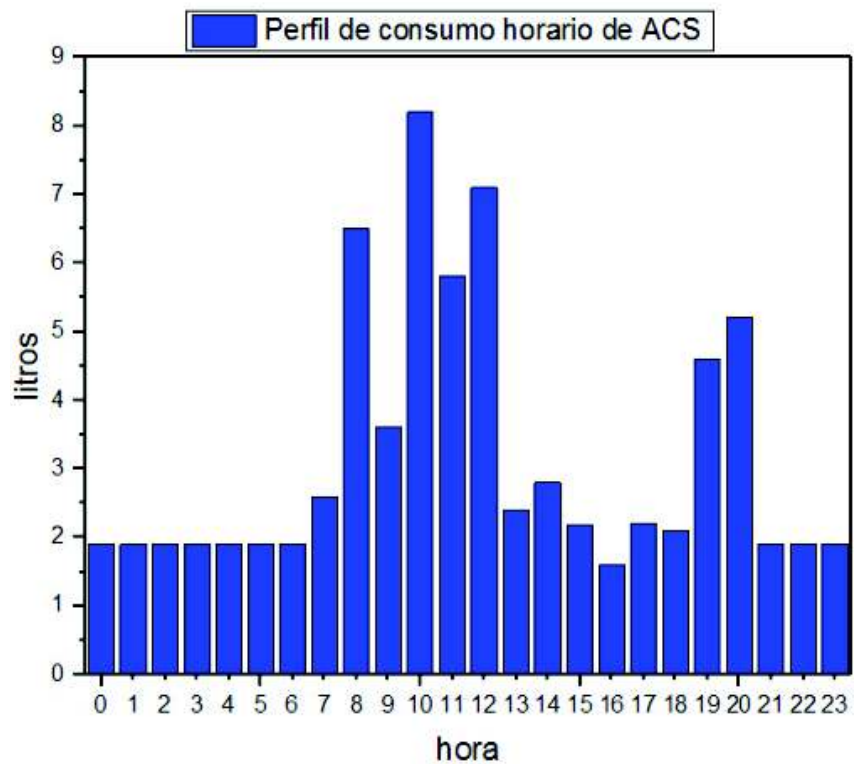


Figura 3.9. Perfil de consumo horario de consumo de ACS.
(Fuente: Pico & Ballagan, 2017)

3.3.2. Cálculo del consumo de ACS

Para conocer el consumo de ACS en las viviendas de la ciudad de Quito, es necesario conocer el número de personas promedio que residen en ellas, este dato se lo tomara de la encuesta realizada en el literal 2.1. Como resultado de la encuesta se obtuvo que en promedio en una vivienda residen 4 personas (ver Figura 3.1) pero por efectos de diseño se consideró 6 personas.

Una vez obtenida la cantidad promedio de personas que residen en una vivienda se puede definir el consumo máximo de ACS. Para esto es necesario conocer el consumo diario de agua en litros por persona.

Del estudio realizado por (Pico & Ballagan, 2017) podemos considerar que el consumo de ACS que más se acerca a la realidad es de 40 litros/persona/día a una temperatura de 45°C. Definido el valor de consumo máximo por persona, en la Tabla 3.3 se presentan el consumo máximo de ACS por día.

Tabla 3.3. Consumo máximo de ACS por día.

Temperatura de uso (°C)	Consumo/persona (lt/día)	# personas por vivienda	Consumo total (l/día)
45°	40	6	240

(Fuente: Propia)

3.3.3. Demanda energética de consumo de ACS

Una vez calculado el consumo de ACS se procede a calcular la demanda energética con la Ecuación 5, que será la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura del agua a la requerida para el consumo.

$$DE_{mes} = Q_{dia} * n * (T_{consumo} - T_{red}) * 1,16x10^{-3} \quad (Ec. 7)$$

Donde:

DE_{mes} : Demanda energética (kWh/mes)

Q_{dia} : Consumo diario de ACS (l/día)

n : Número de día del mes

T_{red} : Temperatura promedio de la red (promedio 15°C) (Cedeño, 2015)

$T_{consumo}$: Temperatura promedio de consumo de ACS

$1,16x10^{-3}$: Equivalencia entre kcal y kWh

Al aplicar la Ecuación 7 con los datos mencionados se obtuvo los siguientes (ver Tabla 3.4)

Con los datos del consumo de ACS, los datos de la demanda energética y la ayuda del programa F-Chart podemos obtener el diseño básico de una instalación solar térmica en una edificación que nos servirá como base de partida para el diseño de nuestros sistemas.

Para este caso, una vez introducidos los datos en el F-Chart, obtenemos como resultado que con un colector solar y un tanque de almacenamiento de 300 litros cubrimos más del 67% de la energía necesaria para calentamiento del agua. Estos resultados los podemos observar en el Anexo 4.

Tabla 3.4. Demanda energética mensual y anual.

MES	n DIAS (días/mes)	T_consumo - T_red (°C)	Q_mes (l/mes)	DE_mes (kWh/mes)
Enero	31	30	7440	258,9
Febrero	28	30	6720	233,9
Marzo	31	30	7440	258,9
Abril	30	30	7200	250,6
Mayo	31	30	7440	258,9
Junio	30	30	7200	250,6
Julio	31	30	7440	258,9
Agosto	31	30	7440	258,9
Septiembre	30	30	7200	250,6
Octubre	31	30	7440	258,9
Noviembre	30	30	7200	250,6
Diciembre	31	30	7440	258,9
			TOTAL	3048,5

(Fuente: Propia)

3.3.4. Condiciones ambientales para la simulación de los sistemas

La Figura 3.10 presenta las condiciones ambientales mensuales con las que se trabajó para la simulación de cada sistema para la preparación de ACS. Se puede observar como la radiación solar y temperatura ambiente varían ligeramente según la época del año, oscilando la temperatura ambiente promedio entre los 17 y 19°C y la irradiación solar mensual entre los 140 y 180kWh. Adicionalmente se conoció el periodo de tiempo en el que los valores de radiación solar y temperatura ambiente son elevados, siendo este entre los meses de julio-octubre. Debido a que algunos de los sistemas modelados funcionan a base de energía solar y bomba de calor, en este periodo presentarán un mejor rendimiento energético.

Los datos de la radiación solar se obtuvieron del software *System Advisor Model (SAM)* y los datos de la temperatura ambiente se obtuvieron de la página web de la NASA (*Atmospheric Science Data Center*).

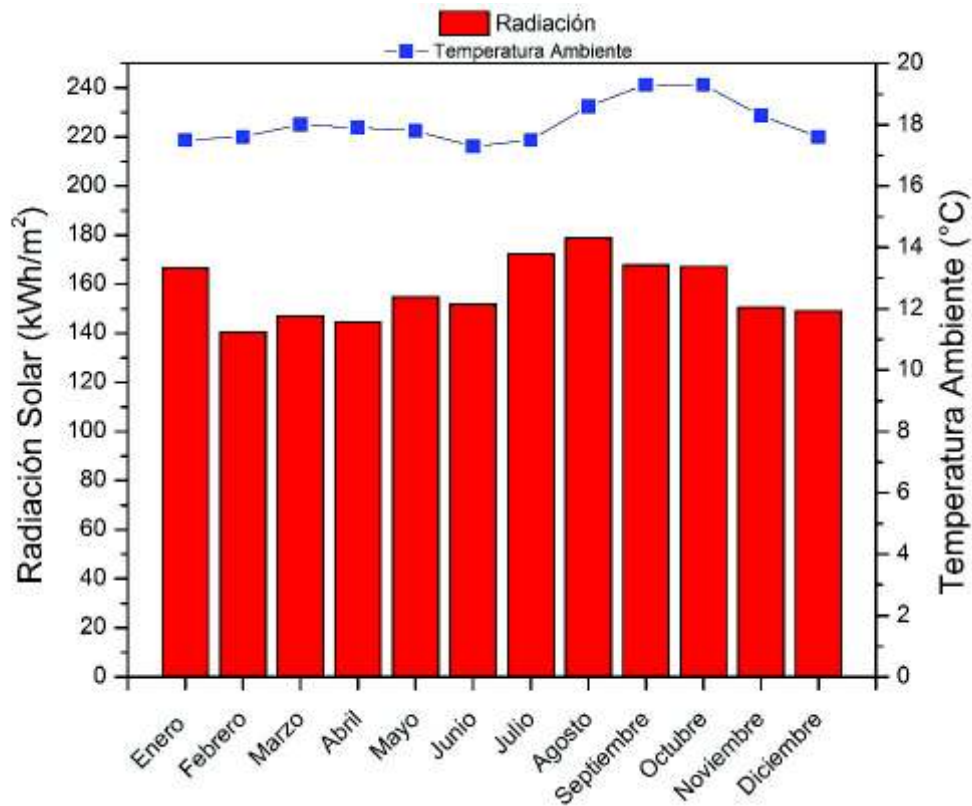


Figura 3.10. Condiciones ambientales.
(Fuente: Atmospheric Science Data Center (NASA))

3.4. Análisis comparativo de los sistemas de preparación de ACS

3.4.1. Modelado de los sistemas propuestos

- **Sistema A**

En la Figura 3.11 se muestra el diseño hidráulico del sistema A, que consta de un colector solar, el cual aprovecha la energía térmica del sol y la trasladan al fluido caloportador del sistema. Una bomba mueve el fluido caliente hacia un tanque de agua doméstica donde el calor se transfiere al agua a través de un intercambiador de calor. El fluido, ahora frío, circula de vuelta hacia el colector para absorber más energía. Adicional a esto el tanque posee un sistema de respaldo (resistencia eléctrica) que se encarga de proporcionar la energía requerida en caso de ser necesario.

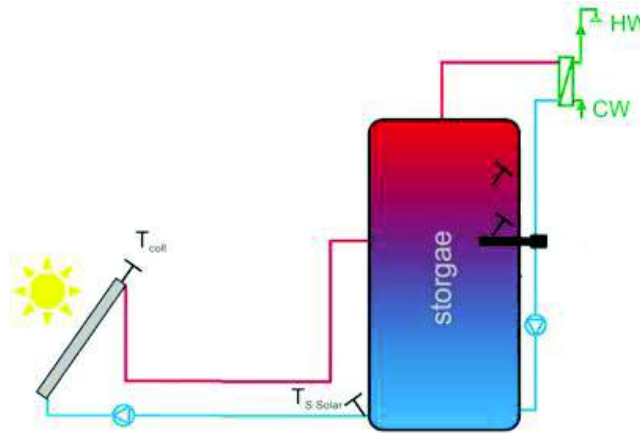


Figura 3.11. Esquema hidráulico A.
(Fuente: Lerch, Heinz, & Heimrath, 2015)

Los parámetros asumidos para el funcionamiento de este sistema se presentan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Parámetros sistema A.

COLECTOR SOLAR	
AREA DE COLECTOR (m ²)	2,8/5,6
INCLINACION (°)	10
ORIENTACION	HACIA EL SUR
COEFICIENTE DE PERDIDAS TERMICAS (W/m ² *K)	3,195
EFICIENCIA ÓPTICA	0,8
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
VOLUMEN DE TANQUE (m ³)	0,3
RESISTENCIA ELECTRICA (kW)	2,5
TEMP. ACUMULADOR (°C)	77
TEMP. CONSUMO ACS (°C)	45

(Fuente: Propia)

En la Figura 3.15 se puede observar del modelo desarrollado en TRNSYS para la simulación del sistema A y como están interconectados cada uno de los componentes; desde las condiciones climáticas hasta llegar a la ducha.

- **Sistema B**

En la Figura 3.12 se muestra el diseño hidráulico del sistema B, que consta de una bomba de calor aire-agua sin asistencia solar. La bomba de calor proporciona energía térmica al agua que circula hacia el tanque de almacenamiento que se encuentra intermedio entre la

bomba de calor y la ducha. El volumen de almacenamiento disponible se basa en la demanda diaria de agua caliente. Como respaldo, se coloca un calentador eléctrico dentro del tanque de almacenamiento que se encargara de suministrar calor al momento que el rendimiento de que la bomba de calor no satisfaga las necesidades de ACS del usuario. El calentamiento del agua tiene lugar a través de un intercambiador de calor externo.

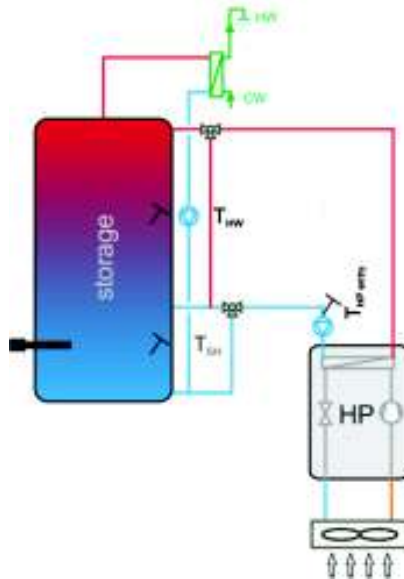


Figura 3.12. Esquema hidráulico B.
(Fuente: Lerch, Heinz, & Heimrath, 2015)

Los parámetros asumidos para el funcionamiento de este sistema se presentan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Parámetros sistema B.

BOMBA DE CALOR	
CAPACIDAD NOMINAL (kW)	4,46
COP NOMINAL	3,8
TEMP. AMBIENTE (°C)	18
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
VOLUMEN DE TANQUE (m ³)	0,3
TEMP. ACUMULADOR (°C)	46/61
TEMP. CONSUMO ACS (°C)	45

(Fuente: Propia)

En la Figura 3.16 se puede observar del modelo desarrollado en TRNSYS para la simulación del sistema B y como están interconectados cada uno de los componentes; desde las condiciones climáticas hasta llegar a la ducha.

- **Sistema C**

En la Figura 3.13 se muestra el diseño hidráulico del sistema C, el cual consta de un tanque de almacenamiento con asistencia eléctrica. La resistencia eléctrica que se encuentra dentro del tanque, es la encargada de calentar el agua que circula por el tanque. Una vez que la temperatura del agua llegue a la requerida se desactiva la resistencia eléctrica y se vuelve a encender cuando la temperatura descienda.

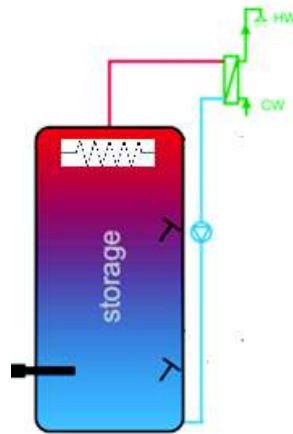


Figura 3.13. Esquema hidráulico C.
(Fuente: Lerch, Heinz, & Heimrath, 2015)

Los parámetros asumidos para el funcionamiento de este sistema se presentan en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Parámetros sistema C.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
VOLUMEN DE TANQUE (m ³)	0,3
RESISTENCIA ELECTRICA (kW)	2,5
TEMP. ACUMULADOR (°C)	57
TEMP. CONSUMO ACS (°C)	45

(Fuente: Propia)

En la Figura 3.17 se puede observar del modelo desarrollado en TRNSYS para la simulación del sistema C y como están interconectados cada uno de los componentes; desde las condiciones climáticas hasta llegar a la ducha.

- **Sistema D**

En la Figura 3.14 se muestra el diseño hidráulico del sistema D, que es una combinación entre los sistemas A y B conectados de forma paralela. El funcionamiento de cada componente es el mismo que se explicó anteriormente.

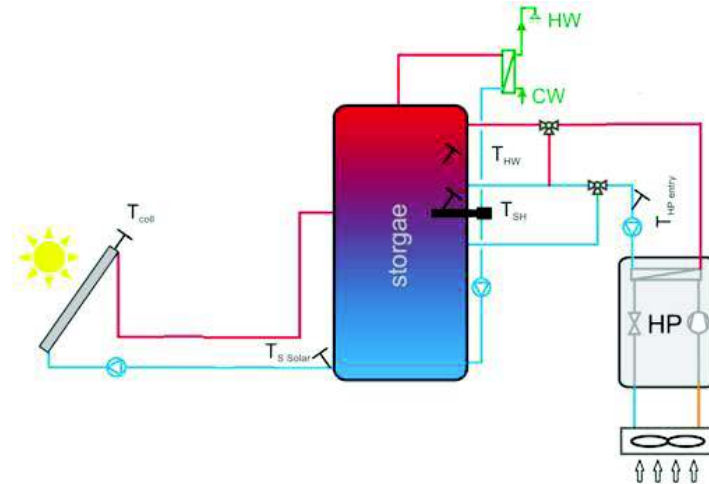


Figura 3.14. Esquema hidráulico D.
(Fuente: Lerch, Heinz, & Heimrath, 2015)

Los parámetros asumidos para el funcionamiento de este sistema se presentan en la Tabla 3.8.

En la Figura 3.18 se puede observar del modelo desarrollado en TRNSYS para la simulación del sistema D y como están interconectados cada uno de los componentes; desde las condiciones climáticas hasta llegar a la ducha.

Tabla 3.8. Parámetros sistema D.

COLECTOR SOLAR	
ÁREA DE COLECTOR (m ²)	2,8/5,6
INCLINACION (°)	10
ORIENTACION	HACIA EL SUR
COEFICIENTE DE PERDIDAS TERMICAS (W/m ² *K)	3,195
EFICIENCIA ÓPTICA	0,8
BOMBA DE CALOR	
CAPACIDAD NOMINAL (kW)	4,46
COP NOMINAL	3,8
TEMP. AMBIENTE (°C)	18
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
VOLUMEN DE TANQUE (m ³)	0,3
TEMP. CONSUMO ACS (°C)	45
TEMP. ACUMULADOR (°C)	60

(Fuente: Propia)

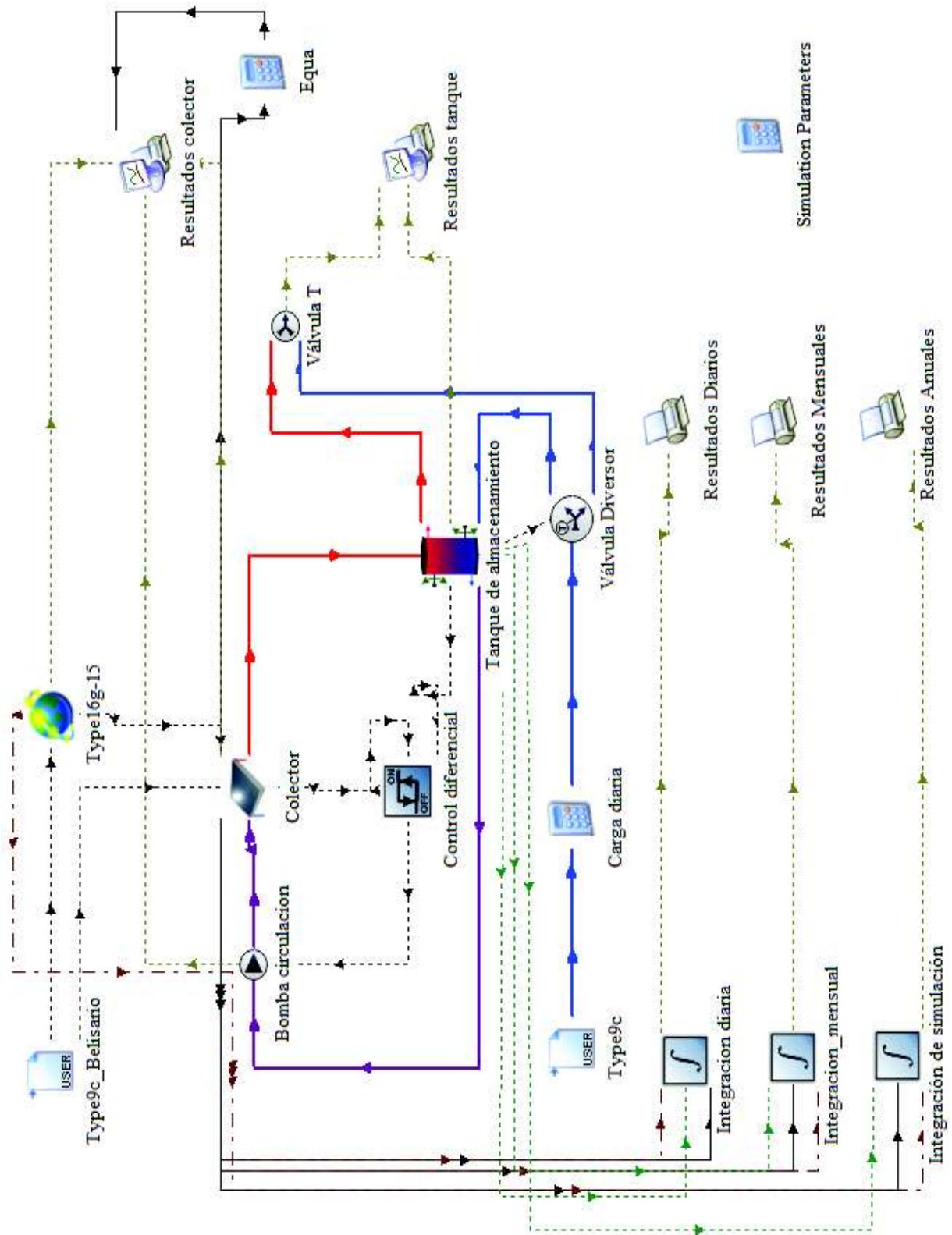


Figura 3.15. Modelo en TRNSYS del sistema A.
(Fuente: Propia)

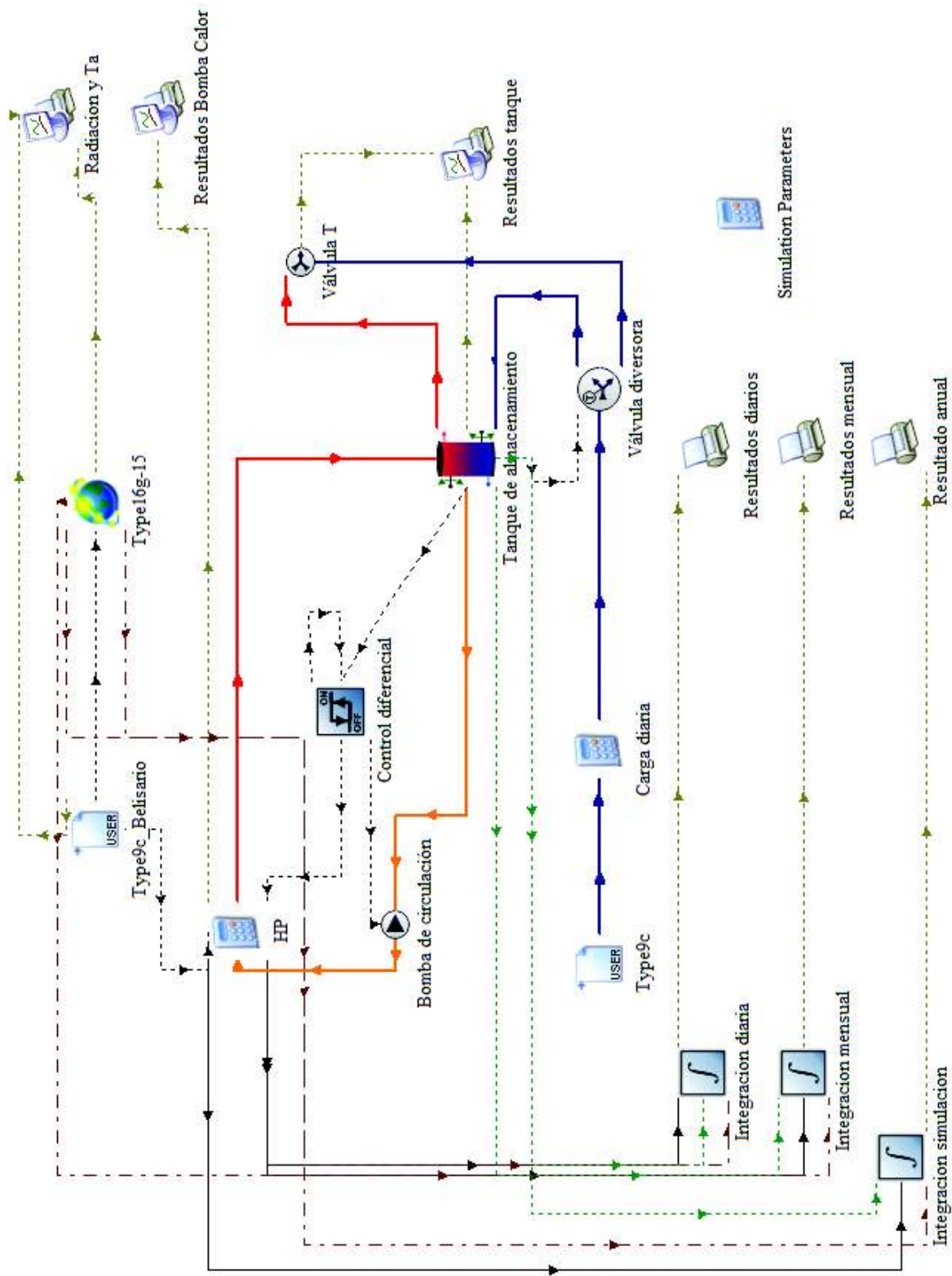


Figura 3.16. Modelo en TRNSYS del sistema B.
 (Fuente: Propia)

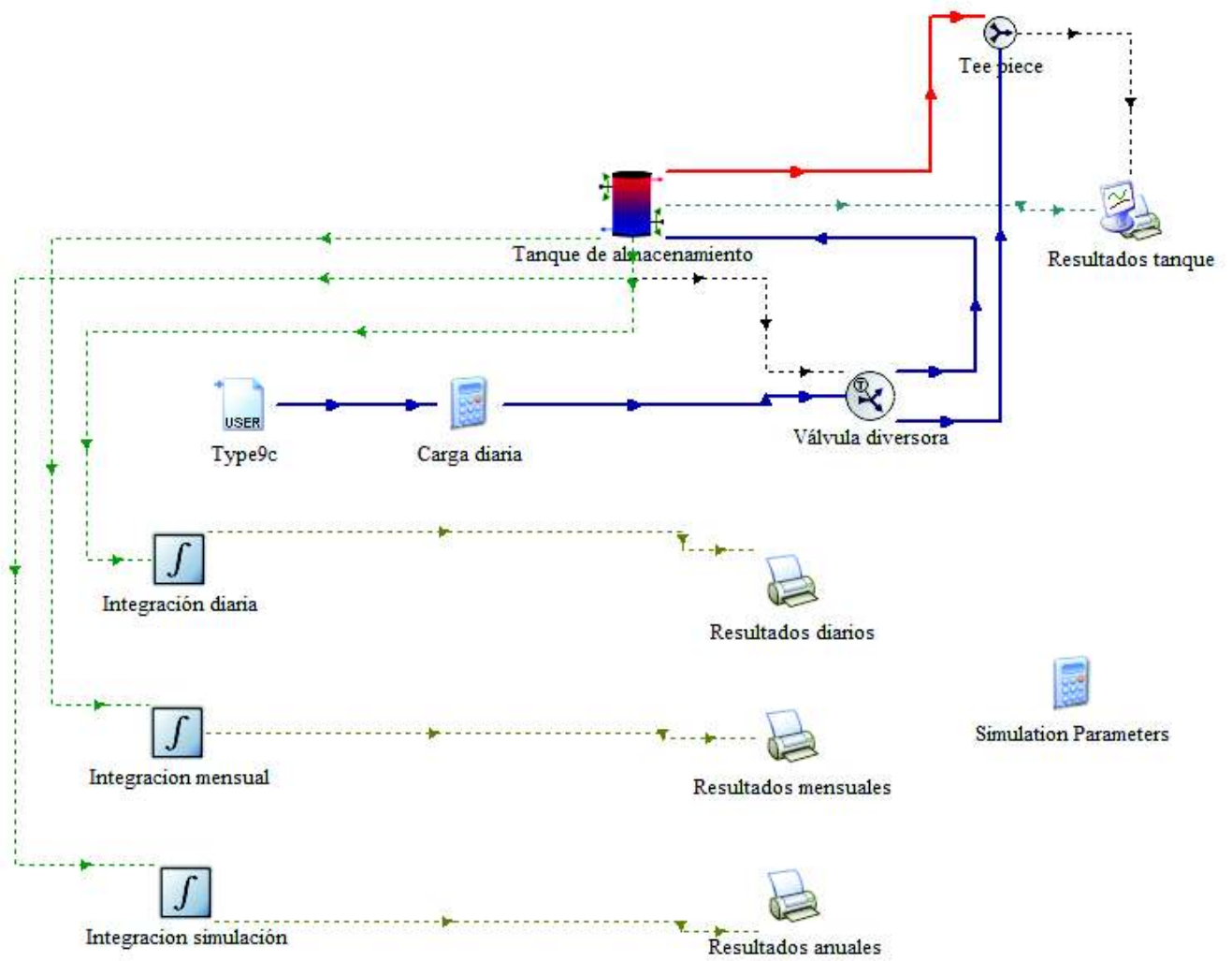


Figura 3.17. Modelo en TRNSYS del sistema C.
(Fuente: Propia)

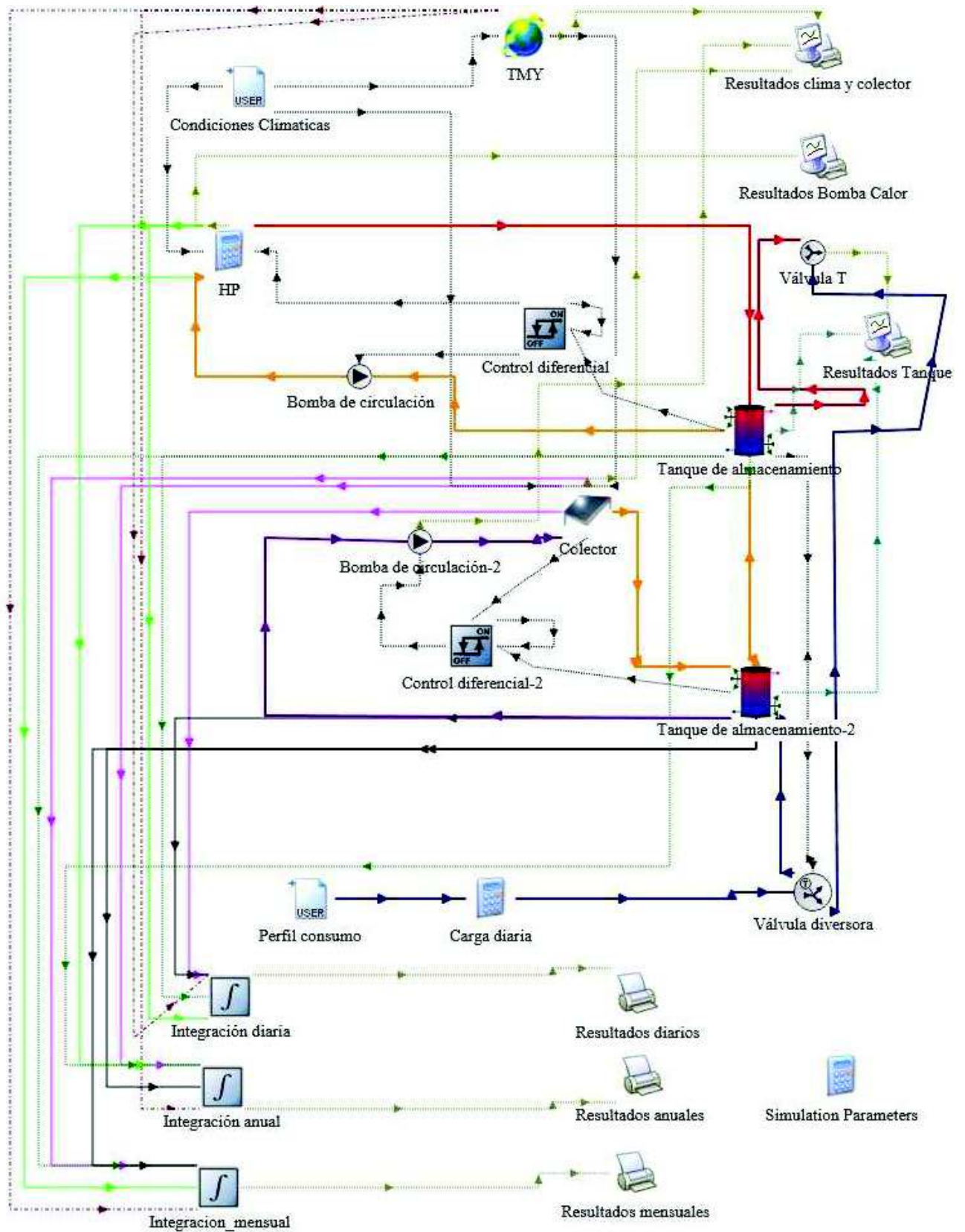


Figura 3.18. Modelo en TRNSYS del sistema D.
(Fuente: Propia)

3.4.2. Resumen anual de los sistemas simulados

En la Tabla 3.9 se muestra un resumen anual de los principales resultados energéticos obtenidos para cada uno de los sistemas simulados.

Tabla 3.9. Resumen de las principales características de los sistemas.

SISTEMA	A		B		C	D	
DEMANADA DE ACS (kWh)	3048		3048		3048	3048	
TEMP. ACS (°C)	45		45		45	45	
TEMPERATURA DEL ACUMULADOR (°C)	77	77	46	61	57	60	61
NÚMERO DE COLECTORES	1	2	/		/	1	2
RADIACION SOLAR (kWh/m2)	1892		/		/	1892	
TEMP. AGUA RED (°C)	15		15		15	15	
CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA (kWh)	1725	902	1234	1737	3387	571	261
APORTE COLECTOR SOLAR (kWh)	1879	2851	/		/	2153	2852
APORTE BOMBA DE CALOR (kWh)	/		3453	3685	/	1223	561
APORTE SISTEMA AUXILIAR (kWh)	1725	902	/		3387	/	

(Fuente: Propia)

Al comparar las dos opciones presentadas para el sistema A, el uso de 2 colectores solares ahorra un 79% del consumo de energía eléctrica, en comparación con el uso de un colector solar que ahorra un 52%, anualmente.

En el sistema D con el uso de 2 colectores solares y bomba de calor se ahorra un 84% de electricidad en comparación con el uso de un colector solar que ahorra un 63%.

El sistema B correspondiente a la bomba de calor al ser utilizado para generar ACS a 45°C en el tanque, ahorra un 65% de energía eléctrica en comparación al utilizado para generar

ACS a 60°C en el tanque que ahorra un 53% de energía eléctrica. Esto es debido a que a medida que aumenta la temperatura del tanque, se reduce el COP de la bomba de calor. El sistema C al ser un sistema puramente eléctrico cubre el 100% de la energía eléctrica necesaria para satisfacer las necesidades de ACS.

Al realizar el análisis de los 4 sistemas simulados se observa que el sistema D es el sistema que menos consumo de energía eléctrica presenta.

3.4.3. Consumo eléctrico

En la Figura 3.19 se indica el consumo de energía eléctrica mensual por cada sistema. Estos valores se obtuvieron a partir de las simulaciones realizadas en TRNSYS.

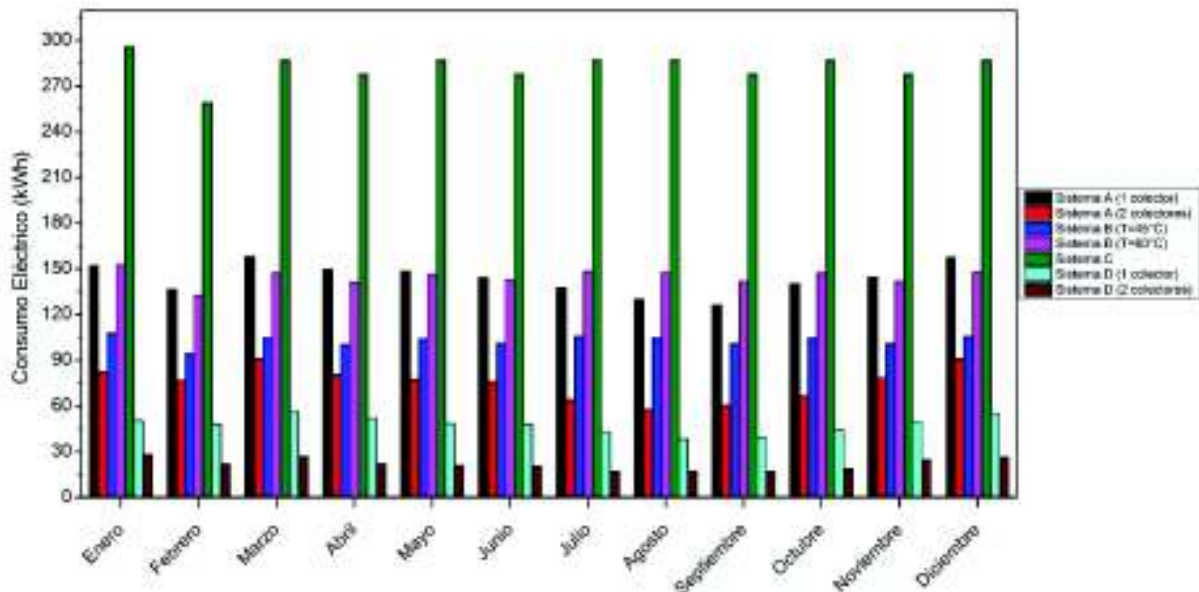


Figura 3.19. Consumo mensual de electricidad por cada sistema.
(Fuente: Propia)

Con estos datos se tiene un valor aproximado del costo de la energía eléctrica consumida anualmente por cada sistema, indicados en la Tabla 3.10.

En los sistemas A y D al utilizar dos colectores solares, el costo anual de consumo energético disminuye aproximadamente un 50%, en relación al uso de un solo colector. Adicionalmente, se evidencia que el sistema B tiene un ahorro del 28% en el costo anual de consumo energético, cuando la temperatura del agua dentro del tanque de acumulación se encuentra a 45 °C, en relación a cuando la temperatura del agua dentro del tanque de acumulación se encuentra a 60°C.

Tabla 3.10. Costo anual de energía eléctrica por sistema.

SISTEMA		COSTO ANUAL ELECTRICIDAD
A	1 COLECTOR	\$ 158,71
	2 COLECTORES	\$ 83,04
B	45°C	\$ 113,59
	60°C	\$ 159,88
C	/	\$ 311,65
D	1 COLECTOR	\$ 52,59
	2 COLECTORES	\$ 24,06

(Fuente: Propia)

3.4.4. Energía generada y fracción solar para los sistemas A y D

Las Figuras 3.20 y 3.21 detallan la cantidad de energía generada por los captadores solares y las fracciones solares obtenidas para las diferentes configuraciones de los sistemas A y D.

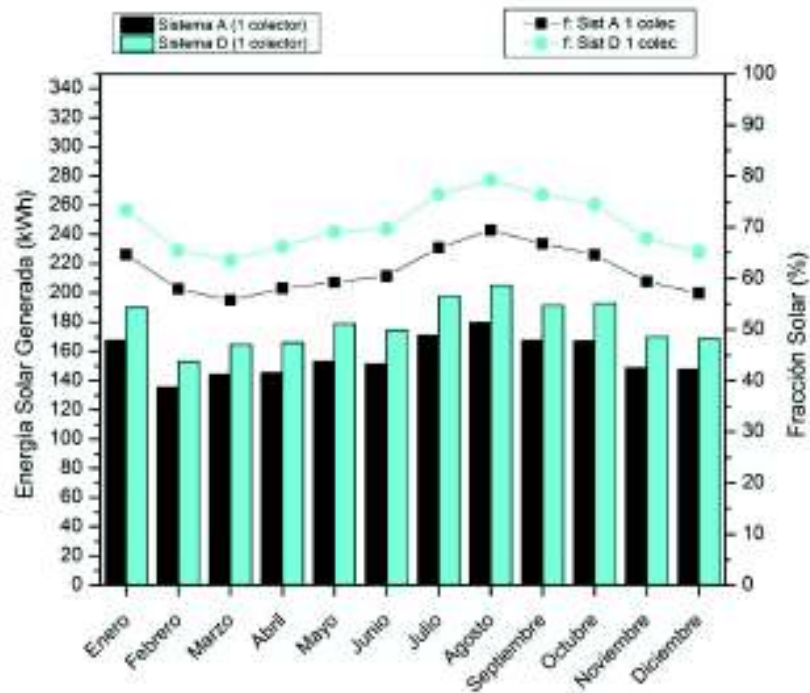


Figura 3.20. Energía solar mensual generada y fracción solar: sistemas A y D (1 colector).

(Fuente: Propia)

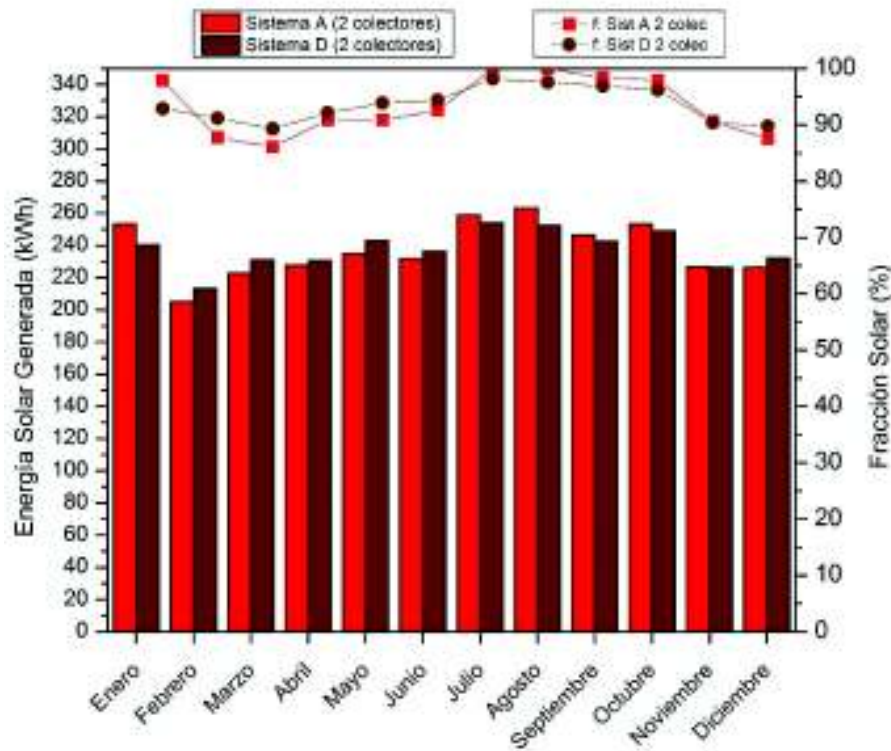


Figura 3.21. Energía solar mensual generada y fracción solar: sistemas A y D (2 colectores).
(Fuente: Propia)

Los sistemas que poseen dos colectores solares generan energía solar aproximadamente de 237kWh mensualmente y los sistemas que poseen un colector solar generan energía solar aproximadamente 167kWh. Estos valores relativamente elevados se deben a que Quito está ubicada en una región en donde las condiciones ambientales son favorables para la instalación de este tipo de sistemas.

La fracción solar nos indica la cantidad de energía que aportan los colectores solares para la preparación de ACS. En este caso se presenta una fracción solar mensual aproximada del 90% para los sistemas que poseen 2 colectores solares y de aproximadamente de 61% para los sistemas que poseen un colector. Es decir que aproximadamente el 10% y 40% respectivamente de la energía requerida para calentar el agua se la obtendrá de sistemas auxiliares. Para el sistema A, la energía auxiliar provendrá de una resistencia eléctrica instalada en el tanque de almacenamiento, y para el sistema D la energía auxiliar provendrá de una bomba de calor.

3.4.5. Análisis energético de los sistemas

En este apartado hablaremos de la cantidad de energía que pueden aportar los componentes principales dentro de cada sistema.

En la Figura 3.22 se observa el aporte de energía solar generada por los captadores solares, y del sistema auxiliar generada por la resistencia eléctrica, así como también la demanda de energía requerida para el calentamiento de agua.

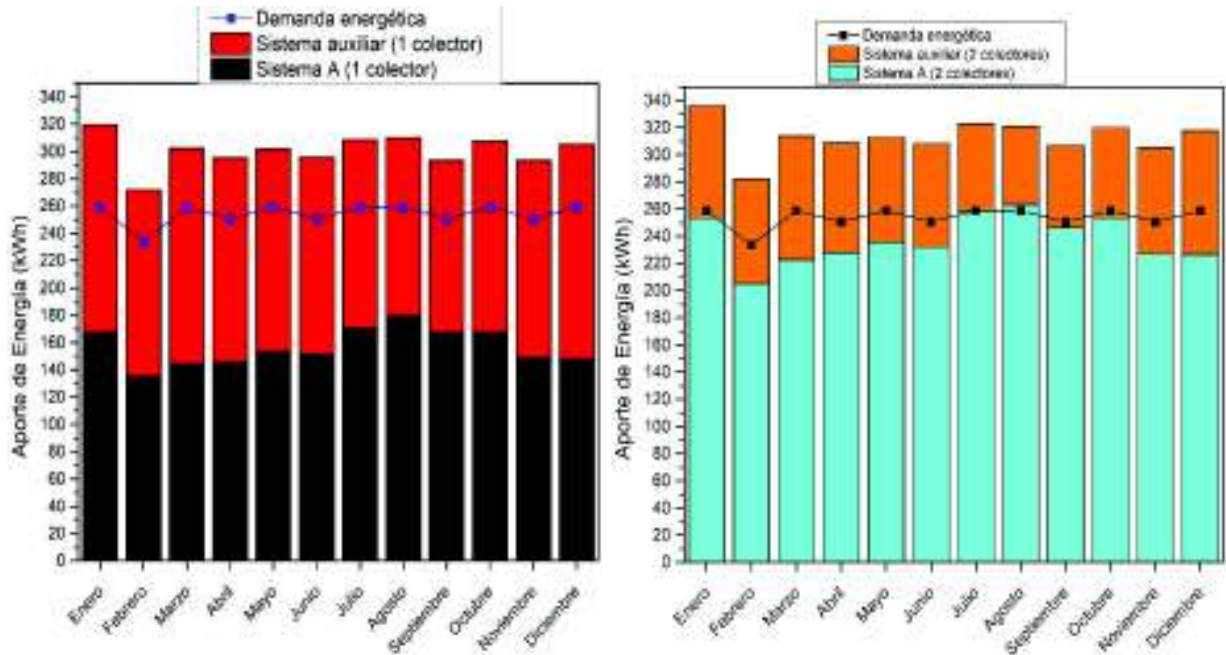


Figura 3.22. Aporte de energía en sistema A.
(Fuente: Propia)

Para el sistema A con un colector solar, el aporte de la energía solar cubre el 76% de la energía necesaria para cubrir la demanda de ACS, el 24% restante es producido por el sistema auxiliar; para el sistema A con dos colectores solares, el aporte de la energía solar cubre el 88% de la energía necesaria para cubrir la demanda de ACS, el 12% restante es producido por el sistema auxiliar.

Para el sistema B con una temperatura de 45°C y 60°C en el tanque de almacenamiento (Figura 3.23), se presenta el aporte de energía realizado por la bomba de calor. La misma que cubre el 100% de la demanda de ACS.

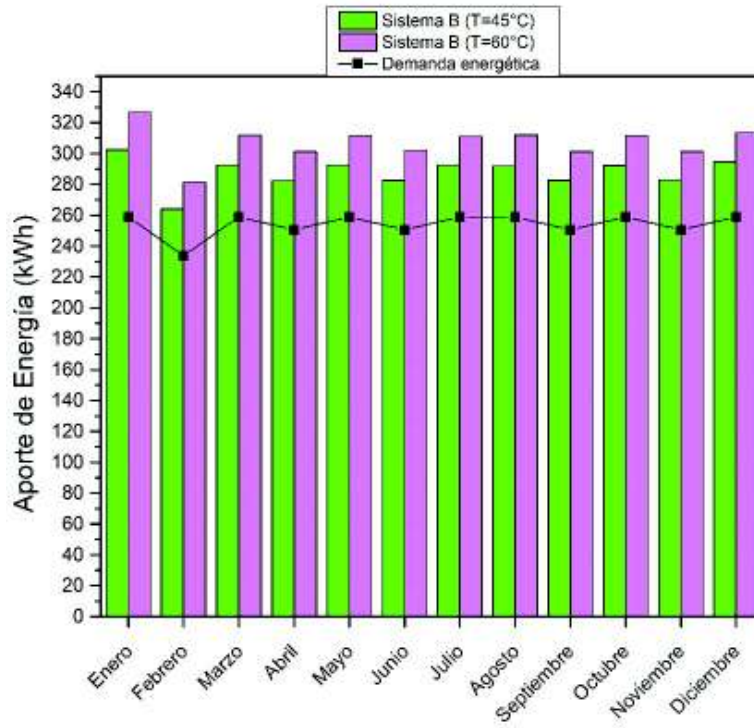


Figura 3.23. Aporte de energía en sistema B.
(Fuente: Propia)

Para el sistema C (Figura 3.24) se presenta el aporte de energía realizado por el sistema auxiliar (resistencia eléctrica), la misma que cubre el 100% de la demanda de ACS.

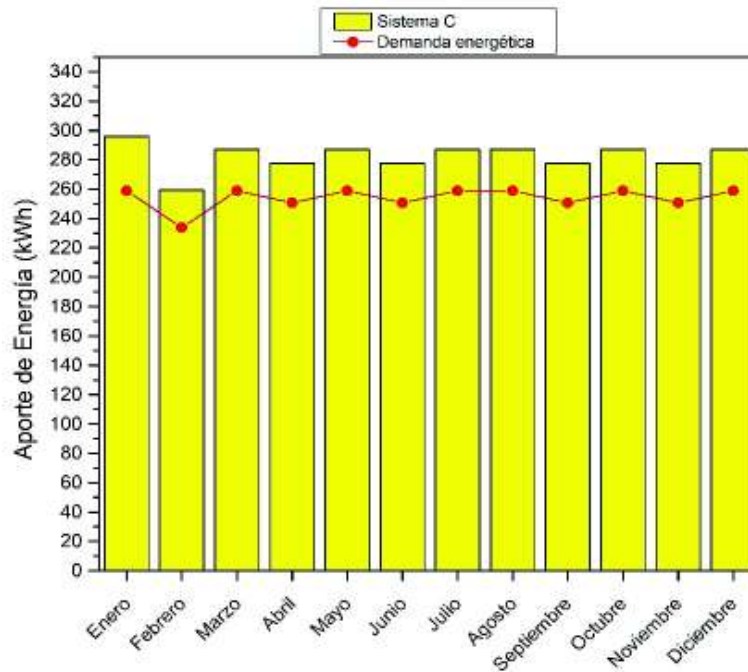


Figura 3.24. Aporte de energía en sistema C.
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.25 se observa el aporte de energía solar generada por el captador solar, y del aporte de la bomba de calor, así como también la demanda de energía requerida para el calentamiento de agua.

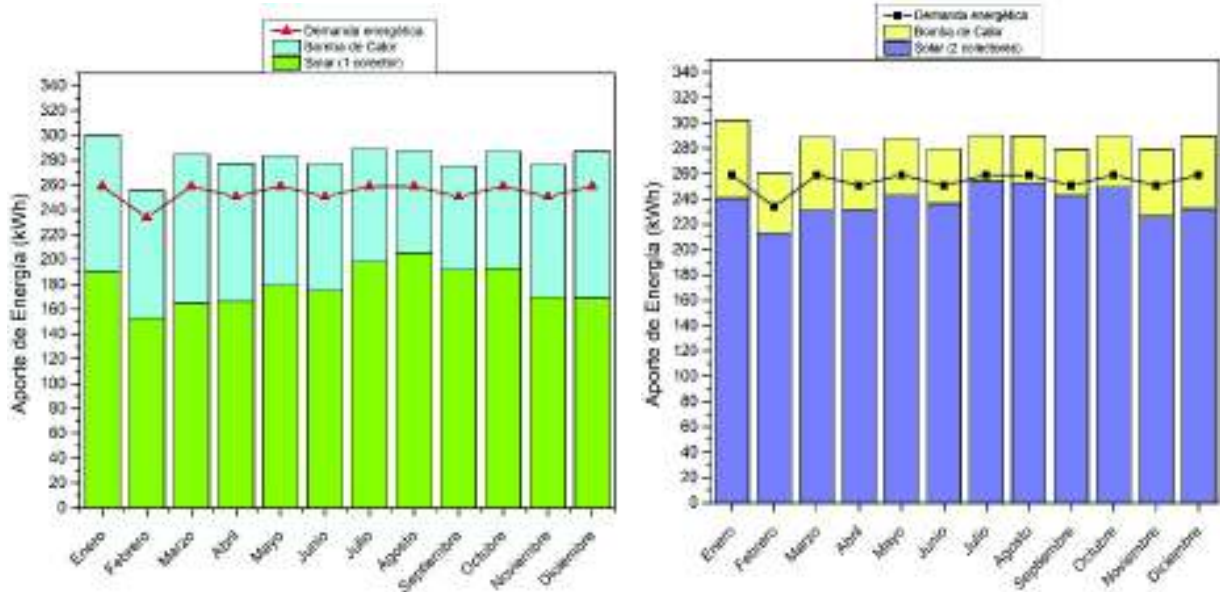


Figura 3.25. Aporte de energía en sistema D.
(Fuente: Propia)

Para el sistema D con un colector solar, el aporte de la energía solar cubre el 76% de la energía necesaria para cubrir la demanda de ACS, el 24% restante es producido por la bomba de calor; para el sistema D con dos colectores solares, el aporte de la energía solar cubre el 88% de la energía necesaria para cubrir la demanda de ACS, el 12% restante es producido por la bomba de calor.

En las Figuras 3.22-3.25 se observa valores ligeramente superiores a la demanda de ACS que corresponden a las pérdidas térmicas en el acumulador.

3.5. Análisis económico

Una vez realizado el estudio técnico se analizó los sistemas desde el punto de vista económico. Para este análisis se realizó una estimación de los recursos económicos necesarios para la instalación de cada uno de los sistemas y por otro lado el ahorro que se generará con la instalación de los mismos.

3.5.1. Presupuesto de los sistemas

A continuación, se exponen los criterios tomados en cuenta para la elaboración del presupuesto referencial:

- El precio referencial incluye los precios de los elementos básicos de cada sistema.
- No se tomara en cuenta el costo del tanque de almacenamiento ya que este elemento es común para todos los sistemas.
- Para mano de obra e instalación: 10 % del costo total de cada sistema.
- Costo de la ingeniería: 15 % del costo total de cada sistema.
- El tiempo de vida útil de los elementos de cada sistema será de 25 años.

La Tabla 3.11 indica de manera general el costo de los elementos que intervienen en cada sistema.

3.5.2. Costo de la energía por cada sistema

El costo de la energía eléctrica en el sector residencial según el último pliego tarifario aprobado por el Consejo Nacional de Electricidad (ARCONEL) en el 2018 corresponde a 0,092 USD/kWh.

A partir de los resultados obtenidos del consumo de energía eléctrica anual por cada sistema (ver Tabla 3.5) y conociendo el costo del kWh en el sector residencial se obtiene el costo anual de energía eléctrica consumida por cada sistema diseñado.

En la Tabla 3.10 se detalla el costo de energía eléctrica consumida por cada sistema y anualmente.

3.5.3. Ahorro anual por cada sistema

El ahorro anual corresponde a un porcentaje de dinero que el usuario dejará de pagar, en este caso a la compañía suministradora de electricidad por el abastecimiento anual de las cantidades necesarias de energía para satisfacer las necesidades de ACS en una vivienda.

Para calcular el ahorro anual, se comparó el costo de la energía eléctrica consumida por los sistemas A, B y D con el costo de la energía eléctrica consumida por el sistema C.

Tabla 3.11. Detalle de costos de cada sistema.

	ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	TOTAL
Sistema A	Colector solar Marca: Chromagen, Modelo: PA-F	1	\$ 771,91	\$ 771,91	
	Bomba de recirculación Grundfos UP 15-14 B PM	1	\$ 264,00	\$ 264,00	\$ 1.501,13
	Sistema de control Termicol CT	1	\$ 165,00	\$ 165,00	(1 colector)
	Mano de obra e instalación	1	\$ 120,09	\$ 120,09	\$2.273,04
	Costo de ingeniería	1	\$ 180,13	\$ 180,13	(2 colector)
	<hr/>				
Sistema B	Bomba de calor Hidrotherm KF100-X	1	\$ 1.400,00	\$ 1.400,00	
	Bomba de recirculación Grundfos UP 15-14 B PM	1	\$ 264,00	\$ 264,00	\$ 2.286,00
	Sistema de control Termicol CT	1	\$ 165,00	\$ 165,00	
	Mano de obra e instalación	1	\$ 183,00	\$ 183,00	
	Costo de ingeniería	1	\$ 274,50	\$ 274,50	
	<hr/>				
Sistema C	Interacumulador vertical de acero Chromagen AVSO11 (300l) y kit eléctrico	1	\$ 1.369,49	\$ 1.369,49	\$ 1.711,86
	Mano de obra e instalación	1	\$ 136,95	\$ 136,95	
	Costo de ingeniería	1	\$ 205,42	\$ 205,42	
<hr/>					
Sistema D	Colector solar Marca: Chromagen, Modelo: PA-F	1	\$ 771,91	\$ 771,91	
	Bomba de calor Hidrotherm KF100-X	1	\$ 1.400,00	\$ 1.400,00	\$ 3.578,13
	Bomba de recirculación Grundfos UP 15-14 B PM	2	\$ 264,00	\$ 528,00	(1 colector)
	Sistema de control Termicol CT	1	\$ 165,00	\$ 165,00	\$4.350,04
	Mano de obra e instalación	1	\$ 286,49	\$ 283,49	(2 colector)
	Costo de ingeniería	1	\$ 429,73	\$ 429,73	
	<hr/>				

(Fuente: Propia)

La Tabla 3.12 presenta el ahorro anual de los sistemas A, B y D en comparación con el sistema C.

Tabla 3.12. Ahorro anual de energía eléctrica.

SISTEMA	CARACTERISTICA	AHORRO ANUAL
A	1 COLECTOR	\$ 152,94
	2 COLECTORES	\$ 228,61
B	45°C	\$ 198,06
	60°C	\$ 151,77
D	1 COLECTOR	\$ 259,06
	2 COLECTORES	\$ 287,59

(Fuente: Propia)

3.5.4. Cálculo del VAN, TIR Y PAYBACK

Una vez aplicadas las Ecuaciones 2 y 3, y tomando en cuenta los siguientes valores se obtiene la Tabla 3.13:

V_t : Flujos de caja en cada periodo t : corresponde al ahorro anual (Tabla 3.12)

I_0 : Inversión inicial: corresponde al costo de los equipos (Tabla 3.11)

k : Tipo de interés: 4% (corresponde a un valor promedio de interés en los bancos del Ecuador)

n : Número de periodos: 25 años

Se obtuvieron los valores del VAN, TIR y PAYBACK para los sistemas.

Tabla 3.13. Cálculos del VAN, TIR y PAYBACK.

SISTEMA	A		B		D	
	1 COLECTOR	2 COLECTORES	45°C	60°C	1 COLECTOR	2 COLECTORES
VAN	\$ 888,11	\$ 1.298,32	\$ 808,11	\$ 84,96	\$ 468,93	\$ 142,71
TIR	9,01%	8,85%	7,11%	4,35%	5,20%	4,21%
PAYBACK	9 años con 9 meses	8 años con 11 meses	11 años con 6 meses	15 años	13 años 9 meses	15 años con 1 mes

(Fuente: Propia)

Como se observa los valores del VAN son positivos para todos los sistemas lo que indica que la implementación de los sistemas propuestos es económicamente rentable tomando en cuenta una vida útil de 25 años.

Al comparar los valores de inversión, el VAN y el PAYBACK de cada sistema, se puede determinar que económicamente el sistema A con el uso de dos colectores es el mejor por su rentabilidad.

El sistema D a pesar de ser un sistema viable y con mayor ahorro de consumo energético, se observa que económicamente su tiempo de retorno es el más alto (15 años) y el VAN es bajo en relación a los sistemas A y B.

En el Anexo 6 se puede visualizar con mayor detalle el proceso de cálculo y obtención de los índices VAN, TIR y PAYBACK para cada uno de los sistemas.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Quito y en general las zonas de la Sierra ecuatoriana precisan de sistemas de calentamiento de Agua Caliente Sanitaria (ACS) para la higiene personal. En el Ecuador los sistemas más comunes son la ducha eléctrica que está presentes en un 55% de los hogares y el calefón de gas con un 31%. Para conocer los datos específicos de consumo de ACS la ciudad de Quito se llevó a cabo una encuesta a 1065 hogares. Los resultados indican que el 58% de los hogares utiliza la ducha eléctrica, el 35% el calefón de gas, el 3.7% calefón eléctrico y el 1.3% sistema centralizado. Tal como se observa, estos resultados son similares a los de Ecuador. Por otro lado, en promedio los quiteños y quiteñas se duchan 5 veces a la semana, demorándose menos de 15 minutos en un 90% de los hogares.

Estos resultados evidencian que actualmente en la ciudad de Quito la población prefiere el uso de sistemas de calentamiento de agua eléctricos y de GLP, ya que el costo energético de estos sistemas es económico debido a que las fuentes energéticas utilizadas son subsidiadas por el estado.

En la segunda parte de esta tesis se realizó un análisis comparativo desde los puntos de vista energético y económico de 4 sistemas para la preparación de ACS: Sistema A: sistema solar térmico con acumulador y subsistema de captación solar separados y apoyo con resistencia eléctrica; Sistema B: sistema con acumulador calentado por bomba de calor aerotérmica; Sistema C: sistema con acumulador calentado únicamente por resistencia eléctrica; Sistema D: sistema combinado con acumulador calentado por energía solar térmica y bomba de calor aerotérmica, que es propiamente el sistema de bomba de calor asistida por energía solar. Para poder realizar el análisis comparativo se determinaron las prestaciones energéticas de cada uno de los sistemas para la ciudad de Quito mediante la herramienta de simulación TRNSYS16. Se tomó la decisión de utilizar este software debido a que nos permitió determinar el comportamiento del sistema durante un periodo de tiempo seleccionado y además es un software de fácil manejo que consta de una amplia gama de componentes definidos.

Las características principales de los elementos que conforman los sistemas estudiados, se obtuvieron de catálogos de fabricantes de dichos componentes; para el caso de los

sistemas A y D, se realizó un estudio para dos áreas de captación solar diferentes una de 2,8 m² y otra de 5,6 m², los sistemas A y C presentan un sistema auxiliar que consta de una resistencia eléctrica de 2,5 kw, los sistemas B y D poseen una bomba de calor con una potencia térmica de 4,46 kw y todos los sistemas están equipados con un tanque de acumulación de 300 litros.

Para el desarrollo de los modelos propuestos se determinó que los parámetros que influyen en las prestaciones energéticas son: radiación solar (1892 kWh/m²/año), temperatura ambiente (18°C) y temperatura de agua de red (15°C), valores considerados para la ciudad de Quito.

Al comparar los sistemas de calentamiento de agua, el sistema solar térmico con dos colectores (sistema A) presenta un ahorro energético aproximado de un 73%, el sistema de bomba de calor a 45°C (sistema B) presenta un ahorro energético aproximado de un 63%, y el sistema de bomba de calor asistida por energía solar con dos colectores (sistema D) presenta un ahorro energético aproximado de un 92%, en relación al sistema C que es puramente eléctrico.

En la ciudad de Quito, el empleo de sistemas de calentamiento de agua sanitaria mediante uso de bomba de calor asistida por energía solar resulta más eficiente energéticamente ya que este sistema anualmente ahorra un 92% del costo de la electricidad en comparación a un sistema eléctrico. Sin embargo, por el lado económico no resulta viable implementarlo en una vivienda unifamiliar debido al alto costo de adquisición de este sistema y al costo relativamente bajo de la electricidad y GLP. El alto costo de adquisición de estos sistemas es debido a que la mayor parte de los equipos se tiene que importar al ser la producción nacional de los mismos nula.

El estudio de factibilidad económica da a conocer que el sistema D a pesar de ser un sistema viable y con mayor ahorro de consumo energético (92%), el tiempo de retorno es de 15 años y el VAN es de \$142,71, con un tiempo de vida útil de 25 años.

Por otro lado, mientras los costos del GLP y la energía eléctrica sigan subsidiadas y sean relativamente bajos, estas instalaciones no tendrán cabida desde el punto de vista económico en viviendas unifamiliares.

Desde el punto de vista económico, para viviendas unifamiliares es recomendable instalar un sistema solar (sistema A con dos colectores solares), ya que abastece la demanda de energía requerida para ACS y es económico, en relación al sistema D ya que a pesar de que este es viable, es más costoso. Sin embargo, en Quito existen algunos edificios multifamiliares que han implementado sistemas de bomba de calor asistidos por energía solar con un costo más reducido debido al mayor tamaño de la instalación, haciendo viable su implementación.

4.2. Recomendaciones

Al implementar el uso de la energía solar térmica para calentamiento de agua sanitaria es una alternativa que brinda confort al usuario, beneficios económicos y ambientales al estado ecuatoriano por lo que se debería considerar seriamente su uso a gran escala.

La industria ecuatoriana debería enfocarse en el desarrollo de nuevas tecnologías aplicables para el aprovechamiento de la energía solar con el fin de obtener sistemas de calentamiento de agua viables.

Realizar un estudio económico - ambiental de los posibles beneficios del uso de sistemas de bomba de calor asistidas por energía solar, y socializar sus resultados para la concientización y motivación para la implementación del sistema en viviendas.

El estado ecuatoriano debería generar una política de incentivos ambientales en donde se reconozca a la población que utilice sistemas de calentamiento de agua amigables con el ambiente.

Referencias Bibliográficas

- ACEEE. (2012). 2012 Hot Water Forum: Program. Retrieved June 14, 2017, from <http://aceee.org/conferences/2012/program-hwf>
- ARCONEL, & MEER. (2013). Plan Maestro de Electrificación 2013-2022. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- ATECOS. (2012). Agua caliente sanitaria: Sistemas convencionales. España.
- Ayala, L., & Donoso, R. (2015). *DISEÑO, MODELACIÓN, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA LA DUCHA ELÉCTRICA*. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO.
- Barbero, E., & Montúfar, I. (2012). *Análisis de la implementación del programa de eficiencia energética, efectos en el dimensionamiento y sostenibilidad ambiental en el Ecuador*. Universidad Central del Ecuador.
- Cedeño, C. (2015). *DISEÑO DE INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE ACS EN EDIFICIO DE VIVIENDA, Y ANÁLISIS COMPARATIVO CON INSTALACIONES TRADICIONALES EN ECUADOR*.
- CENACE. (2017). BALANCE DE ENERGIA. Retrieved from <https://smec.cenace.org.ec/SMEC/Informe.do>
- Chata, G., Chaturvedi, S., & Almogbel, A. (2005). *Analysis of a direct expansion solar assisted heat pump using different refrigerant*.
- Chavarria, O. (2016). *Sistemas solares de termosifón de uso doméstico para producción de agua caliente sanitaria*.
- Corral, D. (2011). *Proyecto de una instalación de energía solar térmica en el polideportivo Can Xarau de Cerdanyola del Vallès*.
- Espin, G., & Remache, B. (2011). *Diseño y construcción de un prototipo de ducha eléctrica de alta eficiencia*. Escuela Politécnica Nacional.
- Eutech. (2016). Thermolib-User Manual.
- Guaranda, W. (2010). Apuntes sobre la explotación petrolera en el Ecuador. Retrieved June 29, 2017, from <http://inredh.org/index.php/en/boletines/boletines-ambientales/153-apuntes-sobre-la-explotacion-petrolera-en-el-ecuador>
- Huang, B., Lee, J., & Chyng, J. (2005). *Heat-pipe enhanced solar-assisted heat pump water heater*.
- IDAE. (2016). Síntesis del Estudio Parque de Bombas de Calor en España, 42.
- INAMHI. (2015). Boletín climatológico anual 2015, 31.

- INEC. (2016). Como crecera la población en el Ecuador. Ecuador.
- JUNKERS. (n.d.). Guía del Instalador de Agua Caliente Sanitaria. España.
- Keliang, L. (2009). *Performance study of a photovoltaic solar assisted heat pump with variable - frequency compressor - A case study in Tibet.*
- Lerch, W., Heinz, A., & Heimrath, R. (2015). Direct use of solar energy as heat source for a heat pump in comparison to a conventional parallel solar air heat pump system. *Energy and Buildings*, 100, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.03.006>
- Lozano, H. (2007). *Regresión Lineal*. Retrieved from <https://prezi.com/qpxysldecq4u/regresion-lineal/>
- Madani, H., Claesson, J., & Lundqvist, P. (2011). Capacity control in ground source heat pump systems Part I : modeling and simulation ´ gulation de la puissance des syste ´ mes a ´ pompe a ´ chaleur Re ´ lisation et simulation sol-eau . Partie I e mode. *International Journal of Refrigeration*, 34(6), 1338–1347. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.05.007>
- Manzano, L. (2011). *Estado actual y perspectivas de la energía solar térmica en el Ecuador.*
- MEER. (2009). *Dotación de 10.905 sistemas de energía solar térmica para agua caliente sanitaria en viviendas cofinanciadas con el bono de la vivienda otorgados a través del MIDUVI.*
- MICSE. (2015). Resume Balance Energético 2015. *Balance Energético Nacional 2015.*, 54.
- MICSE. (2016). Balance energético 2016 año base 2015, 1. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- MINVU. (n.d.). Manual-Sistemas solares térmicos. Chile.
- Molina, J. (2015). *MODELADO FÍSICO Y BASADO EN AGENTES DE FANGOS ACTIVOS*. Universidad Complutense de Madrid.
- Placco, C., Saravia, L., & Cadena, C. (2015). Colectores Solares Para Agua Caliente. *Inenco*, 17.
- Saraguro, P., & Silva, C. (2012). *Análisis, diseño e implementación de un sistema de energía auxiliar automatizado para colectores solares y calefones en el uso racional y eficiente de energía*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- STIEBEL. (n.d.). Calentadores eléctricos instantaneos. El Salvador.
- Tello, D. (2015). Análisis Técnico del comportamiento del consumo y la demanda eléctrica en viviendas típicas de la ciudad de Cuenca, debido a la incorporación de la cocina de inducción y sistemas eléctricos para ACS.
- TRNSYS. (2009). User Manual: TRNSYS 17 a TRaN sient SYstem Simulation program.

TRNSYS Library, Volume 4 Mathematical Reference, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, USA, 3, 1–486.

- Us Department Of Energy. (2010). Getting Started with EnergyPlus: Basic Concepts Manual - Essential Information You Need about Running EnergyPlus, 67. Retrieved from https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_v8.3.0/GettingStarted.pdf
- Velastegui, I. (2012). *Un nuevo rol de la empresa eléctrica Quito en eficiencia energética.*
- Villalta, L., & Buñay, S. (2016). *Evaluación energética-económica en el uso de calentadores de agua en el cantón Paute.* Universidad de Cuenca.
- Wen, X.-N., & Zmeureanu, R. (2015). Energy and Exergy Analysis of a Solar Combisystem using Engineering Equation Solver (EES). *ASim2014 Conference, Nagoya, Japan, (MAY 2014).*

ANEXO 1

FORMATO DE LA ENCUESTA

Tecnologías para calentamiento de agua sanitaria

Encuesta para conocer los hábitos de consumo de agua caliente y tecnologías para el calentamiento de agua sanitaria en los hogares de la ciudad de Quito. (Contestar este formulario únicamente si su lugar de residencia es la ciudad de Quito).

***Obligatorio**

1. ¿Cuántas personas viven en su hogar? *

Marca solo un óvalo.

- 1
- 2 a 4
- 4 a 6
- Más de 6

2. ¿El tipo de vivienda en la que Ud. reside es? *

Marca solo un óvalo.

- Casa
- Departamento
- Cuartos

3. ¿Sector de la ciudad de Quito donde reside? *

Marca solo un óvalo.

- Norte
- Sur
- Centro
- Valle

4. ¿Qué tipo de sistema usan para calentar el agua? *

Marca solo un óvalo.

- Ducha eléctrica
- Calefón a gas
- Calefón eléctrico
- Sistema centralizado (en el caso de vivir en edificios)
- Sistemas a base de energía solar
- Otros

5. ¿Aproximadamente que tiempo se demoran en ducharse? *

Marca solo un óvalo.

- Menos de 10 minutos
- 10-15 minutos
- Más de 20 min

6. ¿Cuántas veces se duchan a la semana? *

Marca solo un óvalo.

- 3-4 veces
- 5 veces
- Más de 6 veces

7. En el caso de usar calefón a gas ¿Cuántos cilindros de gas utiliza al mes? (si usa ducha eléctrica, calefón eléctrico o sistema solar no conteste esta pregunta)

Marca solo un óvalo.

- 1
- 2
- 3
- Más de 3

8. En el caso de usar ducha eléctrica, calefón eléctrico o usar el sistema centralizado de calentamiento de agua, ¿Cuánto paga por el servicio al mes? (si usa calefón a gas o un sistema solar no conteste esta pregunta)

Marca solo un óvalo.

- Menos de 10 dólares
- 10 dólares
- 10-20 dólares
- 20- 30 dólares
- Más de 30 dólares

ANEXO 2

DATOS PARA ESTIMAR ECUACIONES DE LA BOMBA DE CALOR

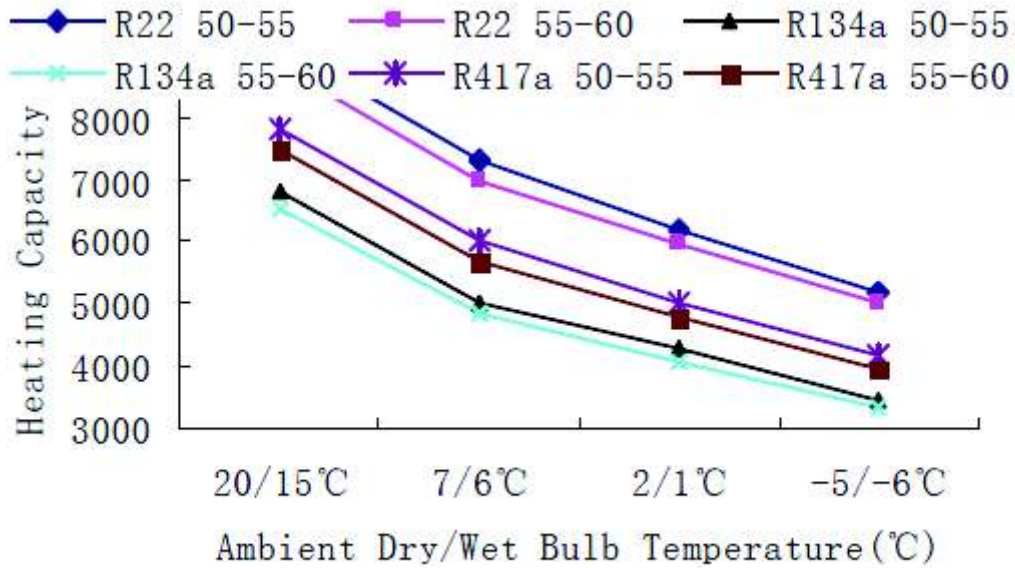


Fig2 Comparison of Heating Capacity

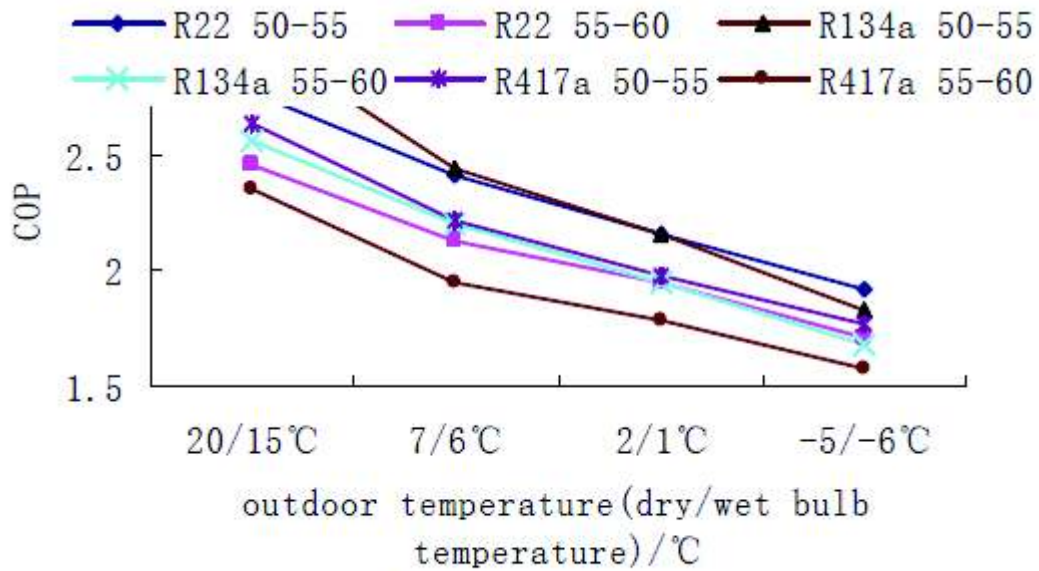


Fig.4 Comparison of COP

ANEXO 3

COEFICIENTE DE DETERMINACION PARA REGRESIÓN LINEAL DE LA POTENCIA CALORIFICA

	A	B	C	D	E	F	G
1	Resumen						
2							
3	<i>Estadísticas de la regresión</i>						
4	Coefficiente de correlación múltiple	0,99795016					
5	Coefficiente de determinación R²	0,99590452					
6	R ² ajustado	0,65711054					
7	Error típico	0,14181806					
8	Observaciones	8					
9							
10	ANÁLISIS DE VARIANZA						
11		<i>Grados de libertad de cuadrado de los cua</i>		<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>		
12	Regresión	5	14,6722629	2,93445258	182,3786728	0,00546212	
13	Residuos	3	0,06033708	0,02011236			
14	Total	8	14,7326				
15							
16		<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
17	Intercepción	3,41927713	0,63430637	5,39057669	0,01250883	1,40063117	5,43792309
18	T_cond	0	0	65535	#¡NUM!	0	0
19	T_aire	-0,01291658	0,11592014	-0,11142655	#¡NUM!	-0,3818262	0,35599304
20	(T_cond)^2	0,00046159	0,00022851	2,02003776	0,136651213	-0,00026562	0,0011888
21	(T_aire)^2	0,00039831	0,00070965	0,56127416	0,613806693	-0,00186012	0,00265673
22	T_cond*T_aire	0,00292216	0,00219484	1,33137397	0,275193497	-0,00406281	0,00990712
--							

COEFICIENTE DE DETERMINACION PARA REGRESIÓN LINEAL DE COP


	A	B	C	D	E	F	G
1	Resumen						
2							
3	<i>Estadísticas de la regresión</i>						
4	Coefficiente de correlación múltiple	0,99014243					
5	Coefficiente de determinación R²	0,98038204					
6	R ² ajustado	0,62089142					
7	Error típico	0,07497848					
8	Observaciones	8					
9							
10	ANÁLISIS DE VARIANZA						
11		<i>Grados de libertad de cuadrado de los cua</i>		<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>		
12	Regresión	5	0,84282218	0,16856444	37,48027024	0,026190264	
13	Residuos	3	0,01686532	0,00562177			
14	Total	8	0,8596875				
15							
16		<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
17	Intercepción	2,66087744	0,33535452	7,93452079	0,00417461	1,593629677	3,72812521
18	T_cond	0	0	65535	#¡NUM!	0	0
19	T_aire	0,08745523	0,06128638	1,42699278	#¡NUM!	-0,107585398	0,28249585
20	(T_cond)^2	-0,00030068	0,00012081	-2,48890189	0,088569957	-0,000685156	8,3787E-05
21	(T_aire)^2	-0,00010453	0,00037519	-0,27859338	0,798656527	-0,001298543	0,00108949
22	T_cond*T_aire	-0,00098802	0,0011604	-0,85144988	0,45708838	-0,00468094	0,00270489
--							

ANEXO 4 F-Chart

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
4	de Energías Renovables													
5	© Miguel Ángel Hernández Cruz 2004													
6	térnicas en edificios		Método F-Chart											
7														
8														
9														
10														
11														
12	Localización	QUITO												
13		Latitud (°) 0,23												
14	Datos de la superficie captadora	Inclinación= 15												
15		Orientación= -90												
16		albedo= 0,2												
17	Datos clima	(0=1-mar; 0,2=febrero normal; 0,4=primavera; 0,9=verano)												
18	Radiación solar (Wh/m² día)	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept	oct	nov	dic	
19	Tª ambiente (°C)	20,2	14,3	14,3	14,0	14,3	15,7	15,7	15,9	14,0	14,3	13,9	14,1	
20	Tª med máxima (°C)	20,4	20,3	20,0	19,9	20,2	20,2	20,7	21,3	21,3	20,6	20,4	20,5	
21	Tª med mínima (°C)	7,7	0,0	0,1	0,0	0,0	1,1	6,7	6,6	6,8	7,5	7,3	7,6	
22	Tª ambiente durante horas de sol (°C)	17,6	17,4	17,4	17,3	17,5	17,3	17,6	17,9	17,9	17,7	17,5	17,6	
23	Tª agua en red (°C)	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
24	Horas de sol	9,3	10,4	11,7	13,3	14,4	15,0	14,7	13,7	12,2	10,7	9,0	9,0	
25	Radiación sobre captador	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	sept	oct	nov	dic	
27	Radiación incidente captador (Wh/m² día)	3883	3945	4618	5001	4169	4893	5340	5494	6039	4789	4154	4646	

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
39	B58													
40	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> ▼ ✕ ✓ fx </div>													
41	Datos edificio e instalación													
42	Nº viviendas	1	Consumo día (l/d)											
43	Consumo A.C.S. (l/persona día)	40	240											
44	Nº personas / vivienda	6												
45	Ce(J/K.g/m°C)	4187												
46	Tº agua consumo (°C)	45												
47	Necesidades calefacción (kWh/mes)													
48	enero	0	febrero	0	marzo	0	abril	0	mayo	0	junio	0	julio	0
49	agosto	0	sept	0	oct	0	nov	0	dic	0				
50	Perfil ocupación anual													
51	Constante													
52	enero	100	febrero	100	marzo	100	abril	100	mayo	100	junio	100	julio	100
53	agosto	100	sept	100	oct	100	nov	100	dic	100				
54	Datos característicos captadores													
55	Nº captadores	1	Área colectores(m²)											
56	Modelo captador	CHROMAGEL PA-F/CGAS017	2.8											
57	Área de captador (m²)	2.80												
58	a	0.67												
59	b/(w/m²K)	3.123												
60	Coste instalación (l/m² captador)													
61		450												
62	Datos Método F-Chart													
63	cte. Abs-trans.	0.96												
64	cte. Intercambiador	0.95												
65	litros en depósito / m² captador	110												
66	Volumen acumulación (l)													
67		308												
68	RESUMEN RESULTADOS INSTALACIÓN DE CAPTADORES SOLARES TÉRMICOS													
69	Energía anual cubierta por captadores (kWh/año)	1.994	(kWh/año)											
70	Energía no cubierta por captadores (kWh/año)	961	(kWh/año)											
71	Porcentaje cubierto por los captadores	67.5%												
72	Rendimiento medio de los captadores	42%												
73	COMPROBACIÓN NORMATIVA RITE (ITE 10.1.3.2)													
74	Diseñar con consumo medio en meses de verano NO													
75	1) Relación área captadora 1.25 < 1.17 NO CUMPLE NORMATIVA ÁREA CAPTADORA													
76	2) Relación volumen acumulación 192 < 308 NO CUMPLE NORMATIVA VOLUMEN ACUMULACIÓN													

ANEXO 5
CATALOGOS
BOMBA DE CALOR

			
HIDROTHERM RESIDENTIAL AIR SOURCE HEAT PUMPS			
Model Number		KF100-X	KF200-X
Picture			
Price + IVA		1250 + IVA	1750 + IVA
Power Supply	V/PH/HZ	220~240V/1PH/60HZ	
Refrigerant & Compressor		R417A / GMCC	
Testing Condition		<ol style="list-style-type: none"> 1. Dry-bulb temperature 20 °C 2. Wet-bulb temperature 15 °C 3. Water temp. rises 40 C deg. 	
Features		<ol style="list-style-type: none"> 1. Environment Temp. for Working: -5°C to 40 °C 2. Max/Min. Water Outlet Temp.: 60°C/7°C 3. Built-in Circular Water Pump 	
Outdoor Unit Air Outlet		Side Discharge Air Outlet	
Rated Heat Production Capacity	KW	4,64	9,28
	BTU/h	15800	31600
Rated Outlet Water Temp.	°C	55	
Max. Outlet Water Temp	°C	60	
Rated Water Heating Capacity	L/h	100	200
Rated Input	KW	1,22	2,45
Rated Working Current	A	5,55	11
COP	W/W	3,8	3,8
Compressor QTY	Unit	1	
Fan QTY	Unit	1	
Sound Level	dB(a)	55	
Water Inlet/Outlet Diameter	Inch	G½"	
Water-Refrigerant Heat Exchanger		Shell Type Heat Exchanger	
Outline Dimension	LxWxH{mm}	930x360x560	1000x370x630
Packing Dimension	LxWxH{mm}	1070x380x590	1130x380x660
20'/40' Container Loading Qty.	sets	128/256	90/186

COLECTORES SOLARES

Capacidades

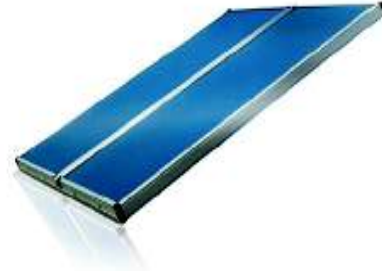
TARIFA 2017/ CONTENIDOS CAPTADORES

Chromagen ha afinado el diseño y la fabricación de captadores para conseguir una alta eficiencia y durabilidad.

Los productos Chromagen además de poseer la certificación Solar Keymark han sido ensayados y homologados según norma UNE - EN 12975.

LÍNEA PRO: captadores económicos, recomendados especialmente para zonas de mayor radiación solar.

LÍNEA COMFORT: captadores que garantizan un excelente rendimiento aún en las zonas de menor radiación solar.



		[PRO]				[COMFORT]					
		GR-K	GR-D	GR-E	GR-F	PA-D	PA-E	PA-F	PA-H	PA-I	PA-G
Referencia		CGAS00	CGAS07	CGAS08	CGAS09	CAL505	CAL506	CAL507	CAL509	CAL520	Q-DS003
Montaje		VERTICAL				VERTICAL			HORIZONTAL		
Dimensiones	UsAM[m]	10x200	80x800	39x800	29x270	190x800	390x800	280x270	100x800	100x280	127x280
	Superficie total[m ²]	1,67	3,20	3,27	2,79	230	237	279	230	237	279
	Superficie apertura[m ²]	1,52	1,87	2,07	2,58	1,87	2,07	2,58	1,87	2,07	2,58
	Superficie absorbente[m ²]	1,48	1,77	2,14	2,54	1,77	2,14	2,54	1,77	2,14	2,54
	Peso vacío[kg]	24	31	35	4	31	35	4	31	35	4
Propiedades térmicas (según el área de apertura)	Factor Eficiencia[η]	0,91	0,91	0,91	0,93	0,97	0,97	0,93	0,91	0,91	0,91
	Coef. Pérdidas α _l [W/m ² ·K]	48,3	48,3	48,3	4,380	3,689	3,689	3,95	3,95	3,290	3,290
	Coef. Pérdidas α _g [W/m ² ·K ²]	0,05	0,05	0,05	0,008	0,012	0,012	0,08	0,08	0,04	0,04
	Modificador Ángulo de Incidencia [f(θ)]	0,95	0,95	0,95	0,87	0,89	0,89	0,95	0,87	0,87	0,87
	Temperatura [°C]	100°C	100°C	100°C	100°C	220°C	220°C	220°C	220°C	220°C	220°C
Fluido	Volumen [l]	10	12	13	15	12	13	15	12	13	15
	Tipo	Propilenglicol diluido según zona climática				Propilenglicol diluido según zona climática			Propilenglicol diluido según zona climática		
	Caudal nominal[m ³ /h]	40-80[m ³ /h]				40-80[m ³ /h]			40-80[m ³ /h]		
	Número de componentes (por línea)	3,24x2+4,04x	3,0x2+3,96x	1,9x2+3,24x	2,97x2+2,53x	193x2+15,52x	189x2+13,24x	2,24x2+13,72x	193x2+15,52x	189x2+13,24x	1,24x2+3,72x
Presión, bar	De línea	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
	Máxima	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Carcasa	Materia	Acero galvanizado lacado epoxidicamente en gris				Aluminio anodizado en color aluminio natural			Aluminio anodizado en color aluminio natural		
	Dorso	Polipropileno negro moldeado				Polipropileno negro moldeado			Polipropileno negro moldeado		
Aislamiento	Materia	Lana mineral continua aluminio				Lana mineral continua aluminio			Lana mineral continua aluminio		
	Polimérico	Cera selectiva				Titanio de alta eficiencia			Titanio de alta eficiencia		
	Soldadura	Láser				Láser			Láser		
	Absorvidad	0,95				0,95			0,95		
	Emissividad	0,05				0,05			0,05		
Alumbramiento	Capa de pintura rígida inyectada de 25mm de espesor + lámina de aluminio				Capa de pintura rígida inyectada + capa de lana mineral, ambas de 25mm de espesor + lámina de aluminio			Capa de pintura rígida inyectada + capa de lana mineral, ambas de 25mm de espesor + lámina de aluminio			
Vidriado	Panel único templado de 3,2 mm de espesor de bajo contenido en hierro				Panel único templado de 3,2 mm de espesor de bajo contenido en hierro			Panel único templado de 3,2 mm de espesor de bajo contenido en hierro			
Junta de estanqueidad	EPDM				EPDM			EPDM			
Conectores	4x Hembra rosca de 1/2" de bronce				4x Hembra rosca de 1/2" de bronce			4x Hembra rosca de 1/2" de bronce			

> PRECIOS

		[PRO]			[COMFORT]		
REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	DEPOSICIÓN	PVR [€]	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	DEPOSICIÓN	PVR [€]
CGAS00	CAPTADOR SOLAR PLANO GR-K	Vertical	380	CAL505	CAPTADOR SOLAR PLANO PA-D	Vertical	532
CGAS07	CAPTADOR SOLAR PLANO GR-D	Vertical	416	CAL506	CAPTADOR SOLAR PLANO PA-E	Vertical	578
CGAS08	CAPTADOR SOLAR PLANO GR-E	Vertical	449	CAL507	CAPTADOR SOLAR PLANO PA-F	Vertical	658
CGAS09	CAPTADOR SOLAR PLANO GR-F	Vertical	500	CAL509	CAPTADOR SOLAR PLANO PA-H	Horizontal	560
		Horizontal		CAL520	CAPTADOR SOLAR PLANO PA-I	Horizontal	607
		Horizontal		Q-DS003	CAPTADOR SOLAR PLANO PA-G	Horizontal	620

TANQUE DE ACUMULACION

TARIFA 2017 / CONTENIDOS

ACUMULADORES AGUA CALIENTE



[INTERACUMULADORES PEQUEÑO VOLUMEN]

Interacumulador de acero con tratamiento vitrificado en esmal. Idóneo para instalaciones de ACS. Temperatura máxima de trabajo 95°C. Presión máxima de trabajo en ACS 8 bar y 3 bar en Doble envoltente o 8 bar en Serpentin.

Capacidad [l]	100	150	200	300	300	100	200	300	200	200
Referencia	AH025	AH075	AH100	AH150	AH300	AV100	AV200	AV300	AV200	AV200
Peso [kg]	65	75	83	110	127	75	83	104	108	145
S Intercambio [m ²]	0,7	0,76	1,2	1,6	1,2	0,6	0,6	0,9	0,6	1,24
S Intercambio coque [m ²]	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	0,02
DxH [cm anillamiento] [mm]	47 x 878	58 x 988	58 x 1204	68 x 1432	68 x 1432	60 x 1020	60 x 1386	60 x 1540	60 x 1386	60 x 1540
Montaje	Horizontal	Horizontal/Vertical			Horizontal	Vertical			Vertical	
Tipo de Circuito	Indirecto	Indirecto			Indirecto	Indirecto			Indirecto	
Intercambiador	Doble envoltente	Doble envoltente			Serpentin	Serpentin			Doble Serpentin	Doble Serpentin
Tratamiento Interior	Vitrificado en esmalte									
Tratamiento Exterior	Acero Galvanizado pintado epoxi/traque									
Aislamiento	Poliuretano expandido y pintado									
Protección Catódica	Ánodo Magnésico									

> PRECIOS

REFERENCIA	CAPACIDAD	DESCRIPCION	PVR [€]
AH025	100	Interacumulador horizontal de 100l	520
AH075	150	Interacumulador horizontal de 150l	620
AH100	200	Interacumulador horizontal de 200l	750
AH150	300	Interacumulador horizontal de 300l	1000
AH300	300	Interacumulador horizontal de 300l	1100
AV100	100	Interacumulador vertical de 100l	745
AV150	150	Interacumulador vertical de 150l	86
AV200	200	Interacumulador vertical de 200l	105
AV300	300	Interacumulador vertical de 300l	125
AV200	200	Interacumulador vertical de 200l doble serpentin	970
AV300	300	Interacumulador vertical de 300l doble serpentin	1240

BOMBA DE CIRCULACIÓN



pinche en este símbolo para volver al índice

Circuladoras para agua caliente sanitaria

WIN & EARN



¡GANE 400 PUNTOS CON COMFORT!

COMFORT UP(S) PM

COMFORT PM: CIRCULADORA DE ALTA EFICIENCIA PARA AGUA CALIENTE SANITARIA

Temperatura del líquido:	+2 °C a +95°C
Presión máxima del sistema:	10 bar
Alojamiento de la bomba:	Latón
Grado de protección:	IP44
Grado de aislamiento:	F
Tipo de conexión:	«Conector ALPHA»
Versiónes:	AUTOADAPT(BA BXA): no es necesaria ninguna configuración X (BX BXA): válvula de aislamiento integrada + válvula de no retorno UPS: 3 velocidades fijas



13

Conexión	Longitud [mm]	Versión con AUTOADAPT	Versión con válvulas	Modelo	MPG11	
					Código	Precio
Rp 1/2	80 mm	-	-	UP 15-14 B PM	97916771	264,00
		X	-	UP 15-14 BA PM	97916757	434,00
		-	-	UPS 15-14 B PM	98492992	273,00
		-	X	UP 20-14 BX PM	97916772	309,00
G 1 1/4	110 mm	X	X	UP 20-14 BXA PM	97916749	490,00
		-	X	UPS 20-14 BX PM	98492994	325,00
		-	-			

SISTEMA DE CONTROL

Sistemas de Control

STDC-V3



- 3 entradas para sensores PT1000 de temperatura.
- 1 salida relé 230VAC (on/off).
- 1 salida PWM (control velocidad bombas alta eficiencia).
- 9 variantes hidráulicas preconfiguradas.

MTDC-V5



- 3 entradas para sensores PT1000 de temperatura.
- 2 salidas relé 230VAC (on/off).
- 1 salida PWM (control velocidad bombas alta eficiencia).
- 25 variantes hidráulicas preconfiguradas.

LTDC-V3



- 6 entradas para sensores PT1000 de temperatura.
- 2 entradas VFS/RPS Directsensor para medir caudal.
- 2 salidas relé 230VAC (on/off).
- 2 salidas PWM (control velocidad bombas alta eficiencia).
- 42 variantes hidráulicas preconfiguradas.

XTDC-V1



- 8 entradas para sensores PT1000.
- 2 entradas para sensor Grundfos VFS/RPS.
- 1 entrada para sensor habitación RC21.
- 2 salidas PWM (control velocidad bombas alta eficiencia).
- 2 conexiones para control de velocidad.
- 4 salidas relé 230VAC (on/off).
- Micro SD Memory Card Slot.
- Conexión Ethernet (en modelo V2).
- 48 variantes hidráulicas preconfiguradas.

ACCESORIOS

Centralitas

Descripción	Referencia	P.V.P €
Termicol STDC con 2 sondas (1 relé mecánico, 1 conexión PWM, 3 entradas PT1000)	703C1STDC32	210
Termicol MTDC con 3 sondas (2 relé mecánico, 1 conexión PWM, 4 entradas PT1000)	703C2MTDC53	295
Termicol LTDC con 4 sondas (3 relé mecánico, 2 conexiones PWM, 6 entradas PT1000)	703C3LTDC34	455
Termicol XTDC sin sonda (6 relé mecánico, 2 conexiones PWM, 8 entradas PT1000)	703C4XTDC10	870
Termicol CT con 1 sonda (1 relé 16A, 3 entradas PT1000)	703C6CTC01	165
Termipool Easy Control (3 salidas de relé de 10 amperios)	805TEC230	275
Sonda de temperatura PT1000 de contacto	703SDPT1000C	27
Sonda de temperatura PT1000	703SDPT1000	17

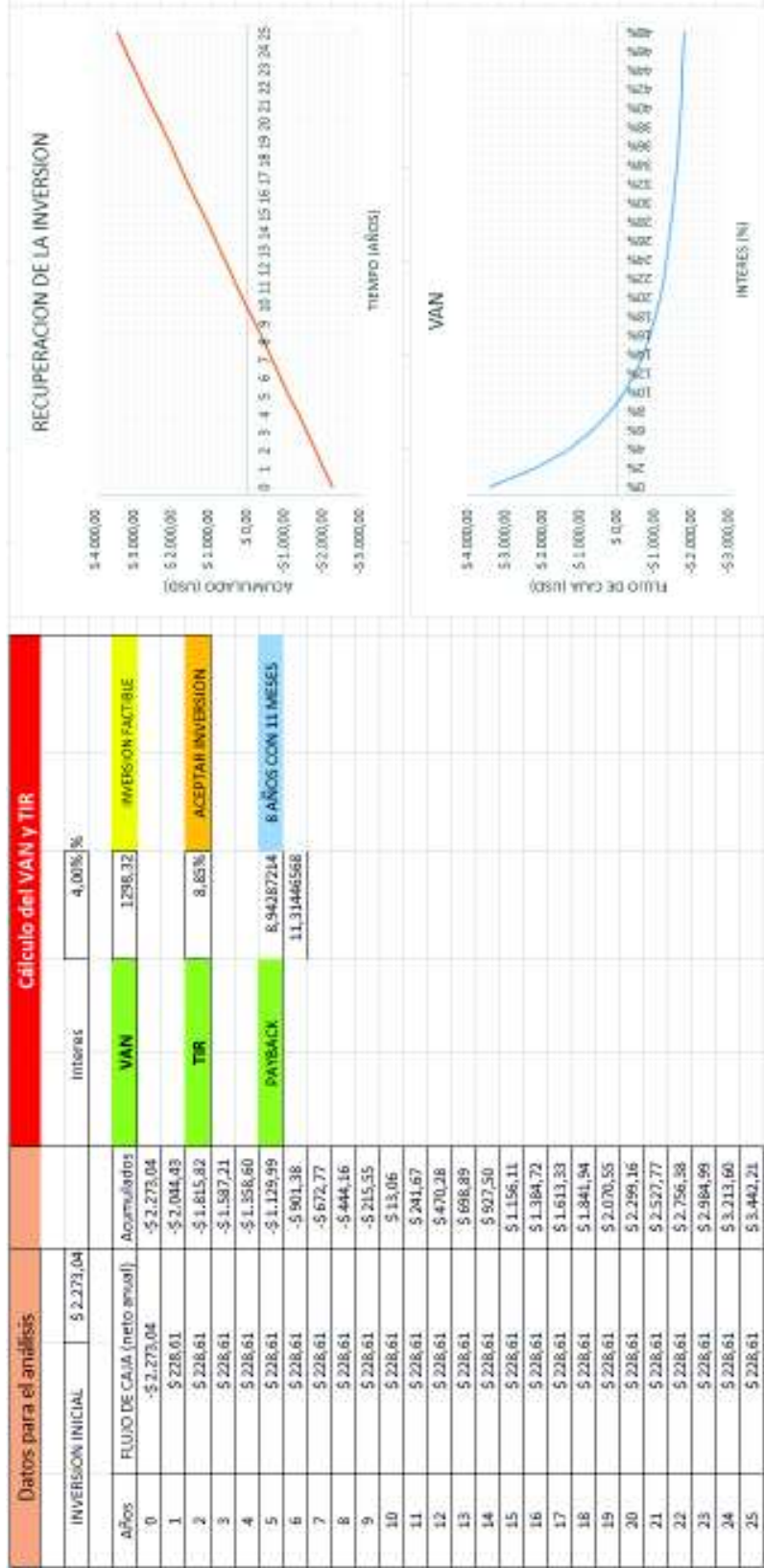
Split Mania

www.termicol.es | 45

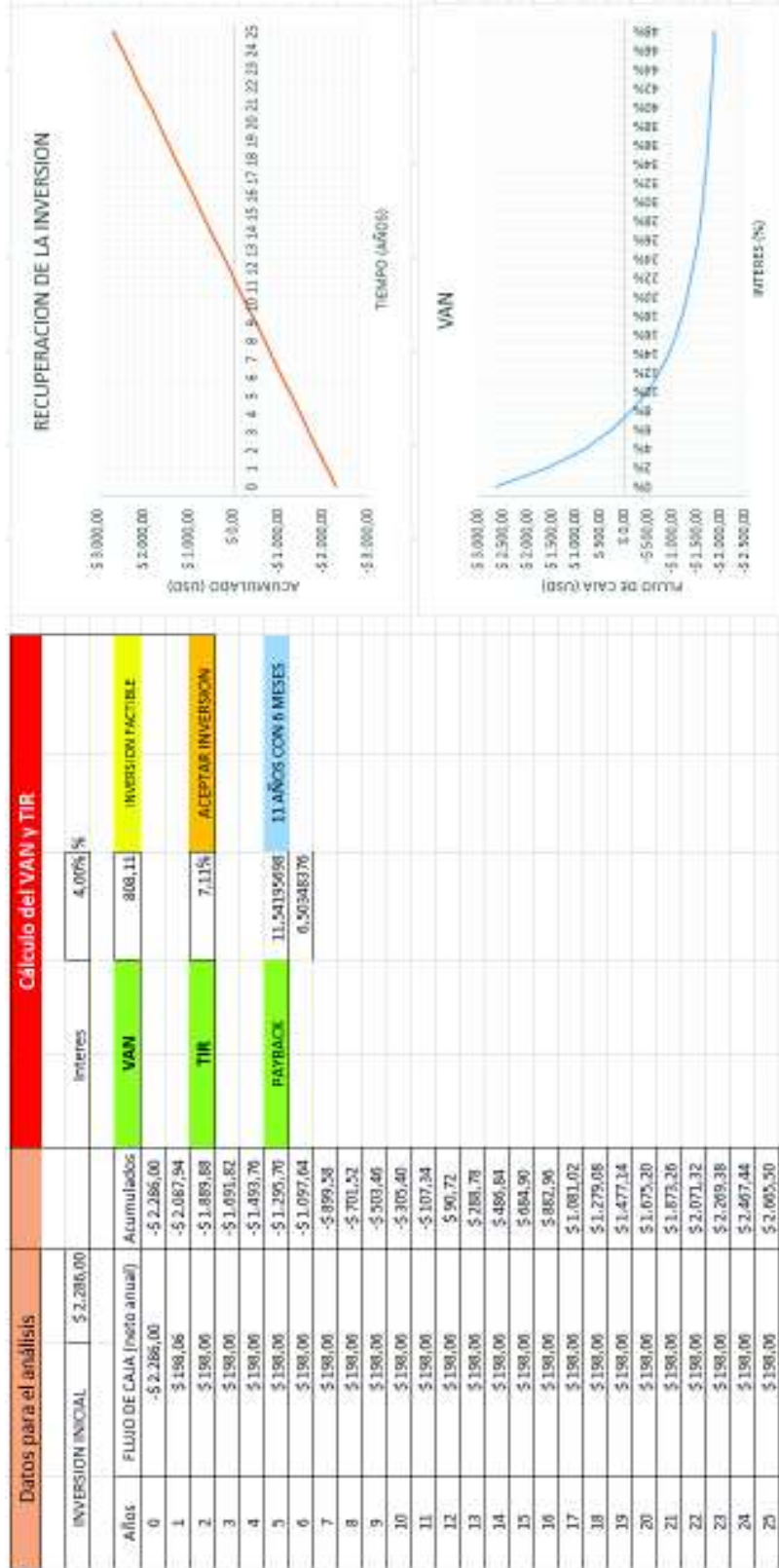
ANEXO 6 VAN Y TIR SISTEMA A (1 COLECTOR)



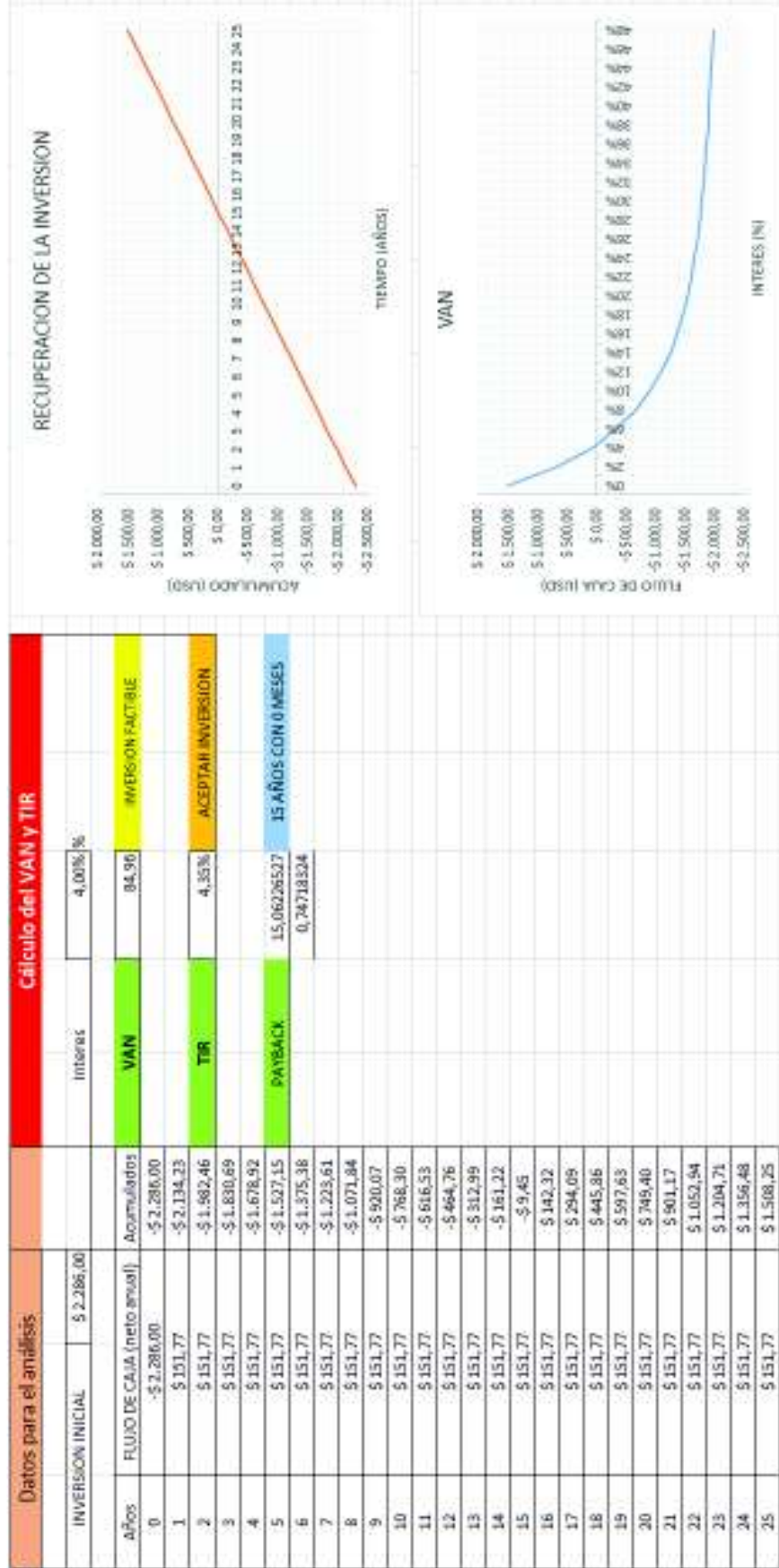
VAN Y TIR SISTEMA A (2 COLECTORES)



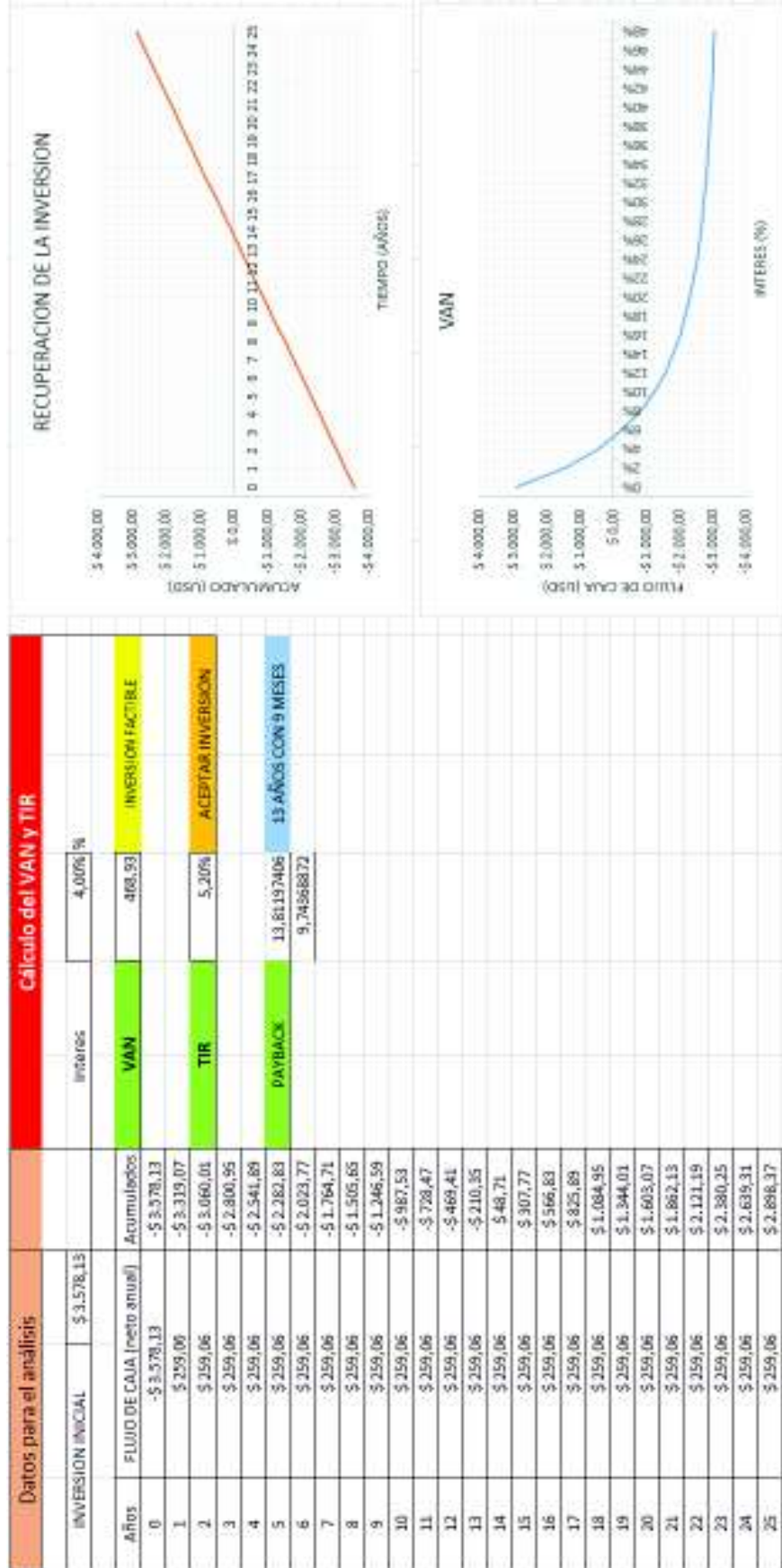
VAN Y TIR SISTEMA B (45°C)



VAN Y TIR SISTEMA B (60°C)



VAN Y TIR SISTEMA D (1 COLECTOR)



VAN Y TIR SISTEMA D (2 COLECTORES)

