



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**“EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN
SISTEMA ELÉCTRICO Y TÉRMICO
SUSTENTABLE EN ZONAS RESIDENCIALES
UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Eléctrico

**AUTORES: LUIS ÁNGEL PEÑALOZA DÁVILA
EDITH TATIANA PEÑALOZA ESPINOZA**

TUTOR: ING. JORGE ROJAS ESPINOZA, MER.

Cuenca - Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Luis Ángel Peñaloza Dávila con documento de identificación N° 0705633865 y Edith Tatiana Peñaloza Espinoza con documento de identificación N° 0705633931, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 27 de mayo del 2022

Atentamente,



Luis Ángel Peñaloza Dávila
0705633865



Edith Tatiana Peñaloza Espinoza
0705633931

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Luis Ángel Peñaloza Dávila con documento de identificación No. 0705633865 y Edith Tatiana Peñaloza Espinoza con documento de identificación No. 0705633931, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto de Investigación: "Evaluación técnica y económica de un sistema eléctrico y térmico sustentable en zonas residenciales utilizando energía solar", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 27 de mayo del 2022

Atentamente,



Luis Ángel Peñaloza Dávila
0705633865



Edith Tatiana Peñaloza Espinoza
0705633931

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Luis Rojas Espinoza con documento de identificación N° 0301575866, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA ELÉCTRICO Y TÉRMICO SUSTENTABLE EN ZONAS RESIDENCIALES UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR, realizado por realizado por Luis Ángel Peñaloza Dávila con documento de identificación N° 0705633865 y por Edith Tatiana Peñaloza Espinoza con documento de identificación N° 0705633931, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyectos de Investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 27 de mayo del 2022

Atentamente,



Ing. Jorge Rojas Espinoza, MER
0301575866

DEDICATORIA

A Dios por la sabiduría recibida para la realización de este proyecto.

*Mis padres Narciza Dávila y Germán Peñaloza, por su infinito apoyo, para
que todo esto se haga realidad.*

*Mi esposa Tatiana, compañera de tesis, por todo su apoyo recibido y afecto
hacia mi.*

A mi hija, Mayte, todo este esfuerzo es dedicado para ti mi princesa.

A mis hermanos Darwin y Edwin, por siempre confiar en mí.

Luis Ángel Peñaloza Dávila.

DEDICATORIA

A Dios por llenarme de sabiduría y sobre todo regalarme la salud para poder desarrollar este proyecto.

A mis padres Guido Peñaloza y Marilín Espinoza por su ayuda incondicional y por siempre estar presente en mi vida.

A mi esposo Luis, mi compañero de vida y mi compañero de tesis, por estar pendiente de mi y darme su mano de apoyo en cada paso que dimos juntos.

A mi hija hermosa Mayte, Te Amo. Todo este esfuerzo es por y para ti mi cielo.

A mis hermanos Alex y Josué, por que siempre quise demostrarles que si yo puedo ustedes también lo pueden.

Y a todos quienes confiaron en mí, a quienes me apoyaron de una u otra manera.

Edith Tatiana Peñaloza Espinoza.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de cumplir esta meta y por regalarme salud.

Mis padres, que recibí siempre su ayuda incondicional.

Mi esposa, por acompañarme en esta etapa de estudio y por su dedicación para que este proyecto se haga realidad.

Mi princesa, por que siempre serás la motivación para cumplir mis metas.

Al Ing, Jorge Rojas, por ser el mentor de este proyecto, gracias Ing. por su dedicación y apoyo.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por brindarme esta oportunidad de cumplir mi sueño.

Luis Ángel Peñaloza Dávila.

A Dios, por el entendimiento para el desarrollo de este proyecto, todo te lo debo a ti mi Señor.

A mis padres que sin su presencia y ayuda todo esto no sería realidad. Gracias por siempre demostrarme que lo que uno se propone, lo cumple.

A mi esposo también compañero de tesis, por todo el tiempo dedicado para que nuestros anhelos se hagan realidad.

Mi niña preciosa, mi princesa Mayte, gracias por que tu eres el regalo mas bello y sobretodo la motivación mas sincera para agradecer a la vida y continuar con mis proyectos.

Ing. Jorge Rojas, muchas gracias, usted a sido mi profesor desde un inicio de este duro caminar y también tutor de tesis. Gracias por sus enseñanzas, por sus sabios consejos y por el gran tiempo que se ha tomado en ayudarnos con el desarrollo de dicho proyecto.

A la familia Salesiana, por haberme brindado esta oportunidad de ser parte de ustedes, a todos los docentes que gracias a sus enseñanzas estoy culminando este proyecto.

Edith Tatiana Peñaloza Espinoza.

RESUMEN

En el presente proyecto se analizaron los sistemas térmico y fotovoltaico que podrán ser considerados como alternativas sustentables respecto a los sistemas convencionales de calefacción, calentamiento de agua y de energía eléctrica en edificaciones residenciales. El caso de estudio corresponde a una vivienda de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay; la ubicación geográfica favorece para la adquisición de datos necesarios para el cálculo respectivo de cada sistema.

Se inició con la recopilación de datos climatológicos proporcionada por la estación meteorológica de la Universidad Politécnica Salesiana y de la estación satelital Nasa Power. Para el dimensionamiento de los sistemas, se detalló las características arquitectónicas de la vivienda, caso de estudio.

A partir de estos datos se obtuvo la carga térmica de la vivienda para diseñar el sistema de calefacción y el sistema Agua Caliente Sanitaria (ACS).

Seguido, se realizó el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico conectado a red donde será usado en conjunto con la red eléctrica, además del tipo isla que permite que el sistema sea independiente de la red eléctrica, ocupando equipos de almacenamiento para un correcto funcionamiento.

Finalmente, se realizó la evaluación económica de todos los sistemas usados para la alimentación de dicha vivienda y se planteó una comparación económica con los sistemas convencionales.

Palabras clave: Calentador solar, calefacción, sistema fotovoltaico, suelo radiante, Sistema térmico.

ABSTRACT

In this project, thermal and photovoltaic systems that can be considered as sustainable alternatives to conventional heating, water heating and electrical energy systems in residential buildings were analyzed. The case study corresponds to a house in the city of Cuenca, province of Azuay; the geographical location favors for the acquisition of data necessary for the respective calculation of each system.

It began with the collection of climatological data from the database of the meteorological station of the Salesian Polytechnic University and the satellite station Nasa Power. For the sizing of the systems, the architectural characteristics of the house were detailed, a case study.

From these data, the thermal load of the house was obtained to design the heating system and the Sanitary Hot Water (DHW) system.

Next, the dimensioning of the photovoltaic solar system connected to the grid was carried out where it will be used in conjunction with the electricity grid, in addition to the island type that allows the system to be independent of the electricity grid, occupying storage equipment for proper operation.

Finally, the economic evaluation of all the systems used to feed this house was carried out and an economic comparison with conventional systems was proposed.

Keywords: Solar heater, heating, photovoltaic system, underfloor heating, Thermal system.

GLOSARIO DE TÉRMINOS:

- HVAC:** Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado.
ACS: Agua Caliente Sanitaria.
DC: Corriente Continua.
AC: Corriente Alterna.
m: Metro.
m²: Metro cuadrado.
m³: Metro cúbico.
E: Este.
S: Sur.
W: Vatio.
h: Hora.
°C: Grados centígrados.
ren: Renovaciones.
g: Gramo.
J: Joule.
l: Litro.
s: Segundo.
A: Área (m²).
V: Volumen (m³).
e: Espesor (m).
λ: Conductividad Térmica ($\frac{W}{mC}$).
Q: Carga térmica de calefacción (W).
Q_t: Carga térmica de transmisión de calor (W).
Q_v: Carga térmica de ventilación (W).
Q_i: Ganancia interna de calor (W).
Q_{to}: Pérdidas por transmisión sin suplementos (W).
Z_{IS}: Suplemento por interrupción de servicio (%).
Z_O: Suplemento por orientación (%).
U: Coeficiente de transmisión térmica ($\frac{W}{m^2}$).
T_i: Temperatura interna confort de la vivienda (°C).
T_e: Temperatura exterior (°C).
h: Coeficiente de transmisión de calor del suelo ($\frac{W}{m^2}^{\circ}C$).
η: Número de renovaciones.
V_a: Volumen de los locales de la vivienda a calefactar (m³).
ρ: Densidad ($\frac{kg}{m^3}$).
C_p: Calor específico del aire ($\frac{KJ}{Kg}^{\circ}C$).
q: Emisión Térmica ($\frac{W}{m^2}$).
A_a: Área de los locales de la vivienda a calefactar (m²).
L: Longitud de los circuitos (m).

d: Distancia entre tubos (m).
L_c: Distancia entre el colector y el circuito del local a calefactar (m).
T_{MS}: Temperatura media de la superficie del suelo (°C).
U_a: Coeficiente de transmisión térmica de la capa sobre tubos ($\frac{W}{m^2}$).
R_a: Resistencia térmica ($\frac{m^2 \cdot C}{W}$).
T_a: Temperatura media del agua en las tuberías (°C).
C_a: Caudal del Agua ($\frac{l}{s}$).
C_w: Calor específico del agua ($\frac{J}{KgK}$).
T_{imp}: Temperatura de impulsión del sistema (°C).
T_{ret}: Temperatura de retorno del sistema (°C).
P_{unit}: Potencia unitaria.
k: Factor de simultaneidad.
rv: Tasa de interés vegetativo.
t: Tasa de interés para proyectos eléctricos.
VAN: Valor Presente Neto.
TIR: Tasa Interna de Retorno.
n: Número de años.
M: Consumo de agua diaria.
Hc: Poder calorífico de GLP.
Vt: Volumen del tanque de GLP.
Pt: Precio del tanque GLP.

Índice general

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes:	2
1.2. Justificación:	5
1.3. Objetivos.	6
1.3.1. Objetivo General:	6
1.3.2. Objetivos Específicos:	6
2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	7
2.1. Energía Renovable.	7
2.1.1. Energía solar.	7
2.1.1.1. Energía solar fotovoltaica.	8
2.1.1.2. Energía solar térmica.	12
2.1.1.3. Ventajas y Desventajas de la energía solar.	15
2.2. Calefacción.	16
2.2.1. Suelo Radiante.	16
2.2.1.1. Configuración de los circuitos de tuberías:	16
2.2.1.2. Ventajas del uso del suelo radiante:	18
2.2.2. Calefacción de suelo radiante por agua caliente:	18
2.2.2.1. Elementos que componen el sistema de suelo radiante:	18
2.2.2.2. Elementos adicionales para el sistema de calefacción:	19
2.3. Caso de Estudio - Vivienda Unifamiliar en zona urbana.	20
2.3.1. Características de la vivienda.	20
2.3.1.1. Envoltente de la vivienda.	22
2.4. Datos climatológicos.	23
2.5. Análisis del sistema térmico sustentable para la vivienda.	25
2.5.1. Metodología para el dimensionamiento del sistema de Calefacción:	25
2.5.1.1. Cargas térmicas de calefacción (Q):	25

2.5.1.2.	Dimensionamiento del suelo radiante.	28
----------	--	----

3. METODOLOGÍA PROPUESTA, dimensionamiento de los sistemas térmicos y eléctrico sustentables 33

3.1.	Cálculo para el sistema de calefacción.	33
3.1.1.	Coeficiente de transmisión térmica (U):	33
3.1.2.	Temperatura Interior (T_i):	35
3.1.3.	Temperatura Exterior (T_e):	35
3.1.4.	Pérdidas por transmisión sin suplementos (Q_{to}):	35
3.1.5.	Suplemento por interrupción de servicio (Z_{IS}):	36
3.1.6.	Suplemento por orientación (Z_O):	36
3.1.7.	Carga térmica de transmisión de calor (Q_t):	37
3.1.8.	Carga térmica de ventilación (Q_v):	37
3.1.9.	Ganancia interna de calor (Q_i):	38
3.1.10.	Cargas térmicas de calefacción (Q):	38
3.1.11.	Cálculo para la implementación del Suelo Radiante.	38
3.1.11.1.	Emisión Térmica (q).	39
3.1.11.2.	Longitud de los circuitos (L).	40
3.1.11.3.	Temperatura media de la superficie del suelo (T_{MS}).	41
3.1.11.4.	Resistencia térmica (R_a).	42
3.1.11.5.	Temperatura media del agua en las tuberías (T_a).	43
3.1.11.6.	Caudal del agua (C_a).	44
3.1.11.7.	Dimensionamiento de red de distribución.	44
3.1.11.8.	Selección de Bomba.	47
3.2.	Cálculo para sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS):	50
3.2.1.	Cantidad de agua a usar en todo el sistema térmico.	50
3.2.2.	Selección del Calentador Solar Térmico.	51
3.2.3.	Diagrama Unifilar del sistema solar Térmico para Agua Caliente Sanitaria (ACS) y Calefacción:	53
3.3.	Análisis del sistema solar fotovoltaico sustentable para la vivienda.	54
3.3.1.	Cálculo del sistema Fotovoltaico Aislado.	54
3.3.1.1.	Carga eléctrica Corriente Alterna (CA):	54
3.3.1.2.	Dimensionamiento de Baterías:	55
3.3.1.3.	Dimensionamiento del Controlador:	56
3.3.1.4.	Dimensionamiento del Inversor:	58
3.3.1.5.	Diseño del sistema solar Fotovoltaico - tipo Isla:	60
3.3.1.6.	Diagrama Unifilar del sistema solar Fotovoltaico - tipo Isla:	60

3.3.2.	Cálculo del sistema Fotovoltaico conectado a Red. . . .	61
3.3.2.1.	Diseño del sistema solar Fotovoltaico - tipo Red:	63
3.3.2.2.	Diagrama Unifilar del sistema solar Fotovoltaico - tipo Red:	64
3.3.3.	Mantenimiento.	64
4.	ESTUDIO ECONÓMICO Y CONCLUSIONES	66
4.1.	Análisis de estudio económico del sistema solar térmico y fotovoltaico:	67
4.2.	Cálculo para el consumo y costo de los diferentes tipos de sistemas que alimentarán al sistema de calefacción y ACS. . .	70
4.2.1.	Consumo y costo de Calefacción Eléctrico:	71
4.2.1.1.	Comparación de los sistemas de calefacción eléctrica convencional y calefacción por suelo radiante.	72
4.2.2.	Consumo y costo de agua caliente sanitaria (ACS) por GLP:	74
4.2.2.1.	Análisis económico del sistema de agua caliente sanitaria (ACS) por GLP vs. Térmico: .	75
4.2.2.2.	Análisis económico del sistema de Calefacción y ACS con GLP y Eléctrico vs. Térmico: . . .	77
4.3.	Análisis económico para el sistema fotovoltaico tipo Red . . .	79
4.4.	CONCLUSIONES:	81
A.	Anexo I: Nomograma de pérdidas de carga lineal Uponor Aqua Pipe (PEX-a)	86
A.	Anexo II: Nomograma de pérdidas de carga Uponor Aqua Pipe (PEX-a)	89
A.	Anexo III: Diagrama de pérdida de carga en el colector	92

Índice de figuras

2.1. Estructura de una celda fotovoltaica en base de silicio puro [16].	9
2.2. Módulos fotovoltaicos conectados en serie.	11
2.3. Módulos fotovoltaicos conectados en paralelo.	12
2.4. Elementos de una instalación solar térmica.	13
2.5. Colector de tubo de vacío.	14
2.6. Colector tipo Heat Pipe.	15
2.7. Sistema en espiral.	17
2.8. Sistema doble espiral.	17
2.9. Estructura bajo el pavimento.	19
3.1. Capas del suelo.	33
3.2. Capas de pared exterior.	34
3.3. Bomba Wilo Yonos.	48
3.4. Vista frontal del suelo radiante.	49
3.5. Calentador Solar Rio Solar.	51
3.6. Batería Aokly 12V-200Ah.	56
3.7. Controlador HQST MPPT.	57
3.8. Inversor One SOLAR.	58
3.9. Diseño SFV tipo Isla.	60
3.10. Diagrama Unifilar SFV tipo Isla.	60
3.11. Diseño SFV tipo Red.	63
3.12. Diagrama Unifilar SFV tipo Red.	64
A.1. Pérdida de carga lineal.	88
A.1. Pérdida de carga de cada circuito.	91
A.1. Pérdida de carga en el colector de la planta baja.	93
A.2. Pérdida de carga en el colector de la planta alta.	94

Índice de tablas

2.1.	Área de cada espacio de la vivienda.	21
2.2.	Área y volumen de cada espacio de la vivienda a calentar. . .	21
2.3.	Características de cada material.	22
2.4.	Área de los envolventes de la vivienda.	23
2.5.	Promedio de Irradiación mensual máxima.	24
2.6.	Promedio de Temperatura Ambiente.	24
2.7.	Promedio de Horas luz diurna.	24
2.8.	Promedio de días sin sol.	24
2.9.	Promedio de Temperatura.	25
2.10.	Coefficiente de Z_{IS}	27
2.11.	Coefficiente de Z_O	27
3.1.	Pérdidas por transmisión sin suplementos de cada envolvente de la vivienda.	36
3.2.	Carga térmica de transmisión de calor.	37
3.3.	Carga térmica de ventilación.	39
3.4.	Datos de la carga térmica de calefacción.	39
3.5.	Emisión térmica de cada espacio de la vivienda.	40
3.6.	Distancia entre colector y el circuito del espacio.	41
3.7.	Longitud de tubería a utilizar en cada espacio de la vivienda. .	41
3.8.	Temperatura media de la superficie del suelo.	42
3.9.	Material colocado sobre los tubos.	42
3.10.	Temperatura media del agua.	43
3.11.	Caudal del agua.	44
3.12.	Pérdida de cada circuito.	45
3.13.	Pérdida de carga de cada circuito.	46
3.14.	Características del sistema.	47
3.15.	Características de la bomba.	48
3.16.	Características del Calentador Solar Rio Solar.	52
3.17.	Características del sistema solar térmico.	53
3.18.	Características del Módulo Fotovoltaico.	55
3.19.	Características de la Batería.	56

3.20. Características del Controlador.	57
3.21. Características del Inversor.	58
3.22. Características generales del sistema.	59
3.23. Características del Módulo Fotovoltaico.	61
3.24. Características del Inversor.	62
3.25. Características generales del sistema.	63
4.1. Lista de materiales y costo para sistema solar térmico.	67
4.2. Lista de materiales y costo para SFV Aislado.	68
4.3. Lista de materiales y costo para SFV tipo Red.	68
4.4. Datos.	70
4.5. Cálculo de potencia para calefactor eléctrico.	71
4.6. Costo de calefactor eléctrico.	72
4.7. Análisis económico: sistema eléctrico vs. térmico.	73
4.8. Análisis económico.	73
4.9. Datos para obtener consumo de GLP.	74
4.10. Datos del calentador GLP.	75
4.11. Análisis económico: sistema GLP vs. Térmico.	76
4.12. Análisis económico.	76
4.13. Análisis económico: sistema Eléctrico y GLP vs. Térmico.	78
4.14. Análisis económico.	78
4.15. Análisis económico: sistema eléctrico vs. SFV Red.	79
4.16. Análisis económico.	80

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes:

La amenaza que representa el uso de los sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado) convencionales al ambiente y la capa de ozono, es un problema energético donde [1] realiza un análisis sobre la problemática expuesta a la humanidad. Es por esta razón que recomienda el uso de los sistemas de calefacción y aire acondicionado basados en energía solar tipo Peltier, este sistema utiliza el principio básico de la termoelectricidad que convierte las variaciones de temperatura en voltaje y viceversa. Para esto, el autor propone realizar la conexión de una serie de células solares para formar módulos que se usan el principio de los receptores fotovoltaicos, para transformar la energía proveniente del sol en energía eléctrica que posteriormente será utilizada para alimentar todo el sistema.

El sistema de calefacción por suelo radiante es designado como una alternativa para la agricultura en el Ecuador, esta investigación está enfocada a la calefacción de plantaciones, para analizar la confiabilidad y reducción de costos que ofrece el cambio de sistema. [2] concluye con base a las investigaciones tratadas, que se puede obtener una mayor productividad y calidad en los productos agrícolas implementando el suelo radiante. Además, el ahorro proveniente de la disminución del consumo de combustibles, amortiza la inversión entre uno y tres años, en adición se encuentra que en la instalación de este sistema pese a utilizar energía eléctrica se puede considerar una fuente ecológica, ya que la eficiencia del mismo es de más del 200 % y no usa ninguna sustancia contaminante para el medio ambiente ni para las plantas del invernadero, proporcionando la capacidad a los agricultores de mejorar la calidad de sus productos.

En las ciudades de Quito y Guayaquil existen lugares donde tienen a disposición sistemas HVAC, a partir de esto se realiza un análisis sobre la demanda eléctrica, aquella demostración es realizada por [3] donde se plantea dos posibles situaciones: La primera se considera que la energía requerida para sustentar los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado son alimentados a través de la red eléctrica pública. El segundo es que todos los equipos involucrados tienen acoplado un sistema fotovoltaico que se encuentra instalado en el techo del edificio.

La investigación inicia simulando el edificio en el programa Solar Heating and Cooling de la Agencia Internacional de Energía (IEA), donde se considera que la construcción no está afectado por sombras y se le proporcionó todos los factores inherentes en cada ciudad como temperaturas, irradiación solar

entre otros. Para el comportamiento térmico del edificio se utilizó el software DesignBuilder, donde se proporcionó datos de la calefacción, refrigeración, coeficientes de prestación, horario de actuación de cargas entre otros.

Luego de la simulación se pudo concebir resultados que demuestran que la generación fotovoltaica versus a demanda para los sistemas HVAC tiene distintos rangos de efectividad, luego del análisis económico se concluye que el ahorro económico anual varía entre el 54% y 58%, dependiendo de los parámetros externos. Además, el retorno de inversión varía entre diez y treinta años.

El colector solar plano dirigido a la calefacción por aire, utiliza la convección natural como base. Este tipo de dispositivos aprovechan el efecto invernadero, es decir, capta la radiación solar a través de una placa colectora o absolvedora. Esta energía se refleja a través del medio circundante del colector para elevar la temperatura. Este dispositivo es analizado por [4], donde el colector solar es modelado en el programa Visual Basic, esto es útil para analizar el comportamiento del colector en varias condiciones de operación y parámetros ambientales. Para lograr lo mencionado primero representan matemáticamente las propiedades de todos los elementos estructurales del colector como: la temperatura de la cubierta, captador, la masa de aire circundante, coeficientes de fricción entre otros aspectos inherentes a las condiciones propuestas.

Las pruebas realizadas en el software reflejan que hay una conexión directa entre la temperatura del aire de salida y el espesor de la cubierta, que aumenta cuando el espesor disminuye siempre que se mantenga una longitud fija.

El uso de la cerámica en paredes y suelos radiantes en edificios, producen las condiciones de confort que pueden brindar al usuario, además de la demanda energética que poseen frente a sistemas convectivos. Así lo analizan los autores [5], donde la investigación se enfoca en el acondicionamiento de las superficies radiantes con tubos capilares para conformar paneles térmicos que prescindan de los habituales materiales, para este tipo de superficies se usa el cartón – yeso, bandejas metálicas y recursos habituales de pavimentación.

Seguidamente, aplican estos paneles en el museo de la universidad de Alicante, para recabar datos sobre la capacidad de los paneles para climatizar las distintas habitaciones y espacios tanto en invierno como en verano con

la ayuda del software de simulación Design Builder, en el cual se desarrolló el cálculo de demandas energéticas del edificio. También se realizó una comparativa de la sensación térmica de los usuarios y se concluyó que, este tipo de paneles cerámicos por sus diversas características como: la resistencia mecánica, mínima absorción de agua, porosidad y coeficiente de conductividad térmica es excelente para el acondicionamiento de paredes y pisos radiantes e inclusive podrían ser utilizados en techos y paredes del museo.

La planta solar de colectores cilíndricos parabólicos, está enfocado en optimizar la potencia que genera cuando existe la presencia de nubes en el ambiente. A partir del estudio realizado por [6], se plantea que como primer punto se realiza un modelado del sistema, se plantean las ecuaciones en función de las zonas que existen, como las “zonas activas” que hace referencia a los lugares donde la radiación solar llega al tubo y las “zonas pasivas”, que son los lugares donde la radiación no es tan intensa o no está lo suficientemente concentrada para ser aprovechada al máximo.

Seguidamente se modela el paso de las nubes y cómo afecta al campo solar para proponer un modelo de control, para lograr lo mencionado se procede a dividir todo el campo en una matriz de 48×80 y se asigna el valor de la radiación para generar una tabla de resultados. En aquellas zonas afectadas por las nubes se aplicó un control MPC para aumentar la producción eléctrica con la disminución de la referencia de temperatura. Con esta implementación se logró una mejora del 4% en días claros y 5.7% para días nublados.

La simulación planteada para demostrar la viabilidad de la implementación de sistemas HVAC, en un complejo departamental usando celdas solares, es realizado por [7]. Donde desarrollan un proceso de modelado que incluyen datos de hogares en varios lugares del mundo, que posteriormente serán incluidas en la simulación. Integran diferentes herramientas para acercar los datos numéricos a la realidad de cada país, de esta manera pueden optimizar y encontrar el área del panel solar óptimo requerido en diferentes ubicaciones.

El software utilizado por los autores fue GridLAB-D que calculó el consumo total de los bloques departamentales versus la producción que podía ofrecer los paneles solares para calefacción en cada una de las casas, este consumo no podía superar la generación que podía ofrecer los equipos. Llegan a la conclusión que, las celdas utilizadas en la simulación eran capaces de sostener los consumos energéticos de las casas inclusive con un 40% de capacidad.

1.2. Justificación:

El uso de energía eléctrica enfocado al acondicionamiento térmico obtuvo un repunte en los últimos años, hoy en día según cifras mostradas por [3] casi el 60% de la energía eléctrica consumida en las zonas residenciales y edificios comerciales, están destinados al confort térmico de sus habitantes. Además, según las nuevas disposiciones gubernamentales en Ecuador, los clientes residenciales que se acogen al subsidio de la energía eléctrica tienen una nueva restricción de consumo, es decir, ahora el subsidio eléctrico por parte del gobierno es para las personas que tengan un rango de consumo menor a 130kWh (depende de la zona). Esto afectó de sobremanera a casi 1.5 millones de clientes residenciales que superan el límite impuesto, por esta razón el gasto por consumo en estas familias se elevó considerablemente [8].

A lo expuesto, si contrastamos el consumo de energía eléctrica que exigen los sistemas HVAC enfocados a la calefacción y las nuevas disposiciones económicas de Ecuador, podemos concluir que uno de los responsables directos para el aumento del costo en las planillas eléctricas de las familias ecuatorianas son los sistemas de calefacción que usan esta energía. Esta situación exige a las familias disminuir el uso de estos sistemas, comprometiendo su confort térmico o utilizar alternativas más baratas, pero menos ecológicas usando fuentes no renovables que contribuyen a la emisión de gases invernaderos.

Por la hipótesis anteriormente mencionada, este proyecto se justifica por sí mismo, ya que al realizar un análisis técnico y económico de los sistemas HVAC que utilizan la radiación solar como fuente de energía, se puede evidenciar y normalizar las ventajas de su uso en las viviendas. Para disminuir considerablemente la dependencia de energía eléctrica pública y a su vez, bajar las tarifas de consumo a las familias que se vieron afectadas por las nuevas medidas económicas dispuestas en Ecuador. Seguidamente, al enfatizar las ventajas del uso de la radiación solar para producir energía eléctrica, se contribuye a los esfuerzos globales de disminución de gases invernadero y consumo de fuentes no renovables.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General:

Analizar técnica y económicamente la implementación de un sistema sustentable eléctrico y térmico a nivel residencial, aplicando energía solar fotovoltaica y térmica.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Definir los funcionamientos de los sistemas HVAC y sistema solar fotovoltaico aplicado en zonas residenciales para producción de electricidad.
- Dimensionar los sistemas HVAC y solar fotovoltaico para una vivienda unifamiliar, considerando los parámetros climatológicos de radiación solar y temperatura.
- Evaluar económicamente los sistemas HVAC y solar fotovoltaico para zonas residenciales.

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Energía Renovable.

Este término hace referencia a aquellas energías que provienen de fuentes consideradas inagotables por su capacidad de regeneración o por el enorme potencial energético que posee, actualmente existe una clasificación para este tipo de energías que las diferencia de acuerdo al poder contaminante que posee, es así que tenemos: energía renovable limpia y energía renovable contaminante [9].

Entre las energías renovables limpias podemos encontrar la eólica, geotérmica, hidráulica, solar y otras fuentes de origen natural autosuficientes. Las energías contaminantes por su lado, comprenden al consumo de materiales que se encuentran en gran cantidad en el planeta y pueden ser: biomasa, procesos de fermentación, consumo de etanoles, entre otros [10].

2.1.1. Energía solar.

La energía solar es la que viene directamente del sol, como mencionamos anteriormente este tipo de energía forma parte de las energías renovables; es muy conocida ya que es usada formando parte de las energías inagotables [11].

Existen algunos tipos de energía solar entre ellas están:

- Energía solar fotovoltaica.
- Energía solar térmica.

- Energía solar pasiva.

Para el dimensionamiento del sistema solar se debe considerar las coordenadas que tendrán los paneles, para esto se debe tener en cuenta los siguientes términos.

- **Latitud.**

Es la distancia que existe desde algún punto de la Tierra hasta el paralelo del Ecuador, donde se hace referencia al Norte o Sur [12].

- **Longitud.**

Es la distancia que hay con respecto al meridiano de Greenwich y un punto dado en la Tierra, pudiendo hacer referencia al Este u Oeste [12].

- **Declinación.**

La declinación está formada por el ángulo entre la línea del plano de ecuador y la línea formada por la unión de la Tierra y el Sol [13].

- **Ángulo horario.**

El ángulo horario hace relación a la distancia existente sobre el arco del ecuador, haciendo referencia que esta medida se toma hacia el oeste del Ecuador [14].

2.1.1.1. Energía solar fotovoltaica.

Es una fuente energética que usa la radiación solar, que llega a la superficie del planeta para generar energía eléctrica a través de celdas o células fotovoltaicas altamente reactivas a la energía del sol; y es considerada como energía renovable puesto que aprovecha las ondas radiantes de una estrella [15].

a) **Funcionamiento.**

El principio de funcionamiento de la energía fotovoltaica se encuentra en su conjunto de células sensibles a la radiación que están agrupadas por módulos y paneles. Utiliza un principio simple de transformación de energía, es decir, convierte la radiación proveniente del sol en energía eléctrica a través de semiconductores (generalmente silicio puro).

Como se muestra en la figura 2.1 cuando las ondas radiantes del sol chocan con una de estas celdas, un porcentaje de la energía es transferida al material semiconductor, a su vez, esta energía excita a los electrones libres y los permite fluir provocando una corriente eléctrica que puede ser

aprovechada o almacenada [16].

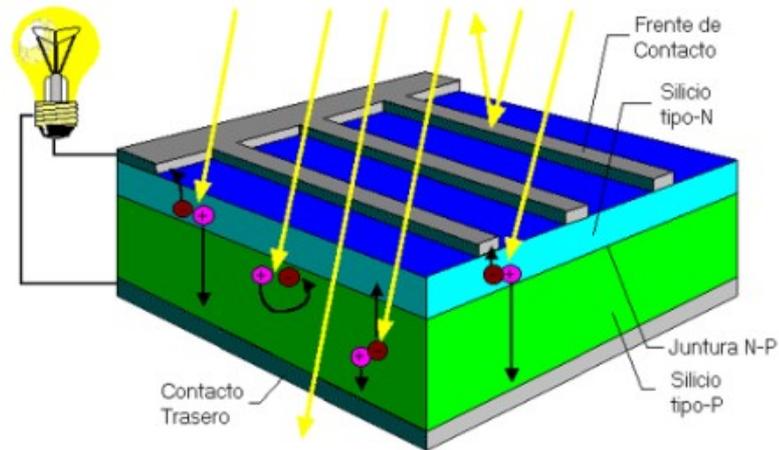


Figura 2.1: Estructura de una celda fotovoltaica en base de silicio puro [16].

b) Elementos de una instalación fotovoltaica.

■ Panel Fotovoltaico.

Los paneles solares o fotovoltaicos son los que cumplen la función de convertir la energía solar en energía eléctrica, cada panel fotovoltaico está compuesto por varias células solares. Existen varios tipos de paneles fotovoltaicos entre ellos están [17]:

- Panel solar monocristalino de silicio.
- Panel solar policristalino de silicio.
- Panel fotovoltaico de capa fina.

■ Batería Solar.

La batería es importante para el correcto funcionamiento del sistema solar fotovoltaico, sirve como acumulador de energía eléctrica que es generada por las placas solares. La capacidad de una batería se mide en amperio hora teniendo en cuenta la temperatura de referencia [18].

■ Inversor Solar.

El Inversor o convertidor DC/AC es el que transforma el voltaje y la corriente continua en alterna. Para elegir el tipo de inversor a usar en el sistema fotovoltaico, se toma en cuenta la distribución de instalación eléctrica para el lugar donde se va a colocar dicho sistema.

Existen dos tipos de inversores, estos son: Inversor Monofásico y Trifásico [19].

- **Regulador de Carga.**

El regulador hace que los módulos fotovoltaicos trabajen a su máxima potencia, evitando que existan sobrecargas y controlando también algunas descargas presentes en el sistema [19] [20].

- **Estructura de soporte.**

La estructura de soporte sirve de base para colocar los paneles fotovoltaicos, esto con el fin de proteger los equipos por las adversidades atmosféricas que se puedan presentar [19].

- **Cableado.**

El cableado PV usado en la implementación del sistema, sirve para conectar los paneles solares con los demás equipos, necesarios para el correcto funcionamiento del mismo. Es necesario considerar, que este tipo de cableado debe ser resistente a los cambios climáticos al estar expuesto al aire libre. [20].

c) **Tipos del sistema fotovoltaico.**

Como se mencionó anteriormente, la radiación del sol puede ser parcialmente aprovechado para generar energía eléctrica de manera sustentable, pero, ¿Qué aplicaciones puede tener este tipo de fuente?. Según [21] la energía proveniente de este método de transformación tiene varias aplicaciones como:

- **Sistema fotovoltaico conectado a la red:**

La energía eléctrica proveniente de las celdas fotovoltaicas se complementa perfectamente con las redes principales de distribución pública. Además, se puede utilizar para electrificar edificios o viviendas disminuyendo el consumo eléctrico, seguidamente, para aplicaciones domésticas, esta energía puede ser almacenada en acumuladores (p. 33).

Componentes de una instalación fotovoltaica conectada a la red:

Este modelo de instalación está compuesto por los siguientes elementos básicos:

- Paneles solares fotovoltaicas.
- Inversor de corriente eléctrica.
- Interruptor termomagnético.

- Contador eléctrico.

- **Sistema fotovoltaico aislado:**

Este tipo de sistemas como su nombre mismo lo indica se encuentra aislado de la red eléctrica, donde las celdas fotovoltaicas por sus propias características tienen gran versatilidad en suministrar energía en aparatos que se encuentran al aire libre como: señalizaciones, redes de comunicación de carreteras, alumbrado de zonas rurales, entre otros (p. 35).

Componentes de una instalación fotovoltaica aislada a la red:

Este modelo de instalación está compuesto por los siguientes elementos básicos:

- Paneles solares fotovoltaicas.
- Batería solar.
- Regulador de carga.
- Inversor de corriente eléctrica.

d) **Tipos de conexiones:**

- **Conexión en Serie.** Esto significa que la salida de la corriente total del sistema es igual a la corriente de una célula solar, a partir de esto se obtendrá una elevación de voltaje a la salida. La forma de conexión en serie de los módulos fotovoltaico se indica en la figura 2.2 [17].

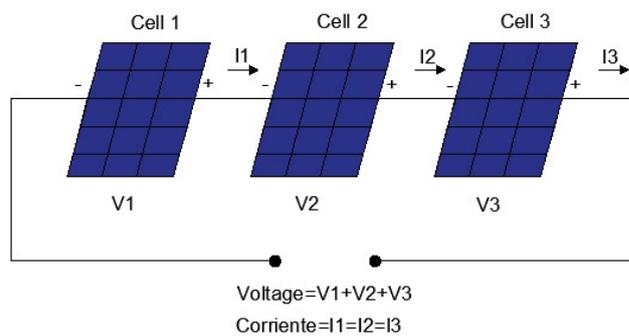


Figura 2.2: Módulos fotovoltaicos conectados en serie.

- **Conexión en Paralelo.** A lo contrario de la conexión en serie, el voltaje es individual para cada célula, mientras que la corriente total

es la suma de la corriente de cada célula. La forma de conexión en paralelo de los módulos fotovoltaico se indica en la figura 2.3 [17].

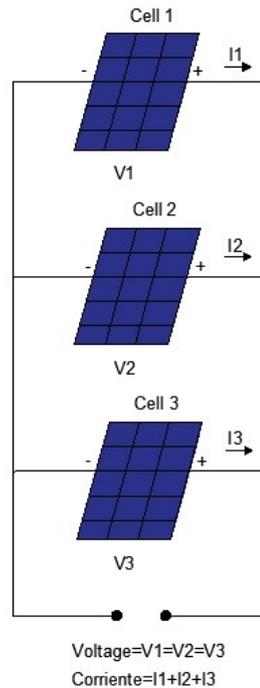


Figura 2.3: Módulos fotovoltaicos conectados en paralelo.

2.1.1.2. Energía solar térmica.

La energía solar térmica hace referencia al aprovechamiento del gran potencial energético que tiene la radiación solar para producir calor, a su vez, este puede ser aprovechado para varias aplicaciones. Uno de los usos más comunes y domésticos es la calefacción de viviendas o para producir agua caliente de uso sanitario (ACS), seguidamente esta energía también puede ser utilizada para producir electricidad a través de procesos de conversión de energía [11].

a) Elementos de una instalación solar térmica.

- **Captador Solar.**

Son dispositivos diseñados para recoger o captar la radiación solar en forma de calor para incrementar su propia temperatura. Pese a que el principio de funcionamiento de los colectores es el mismo, el

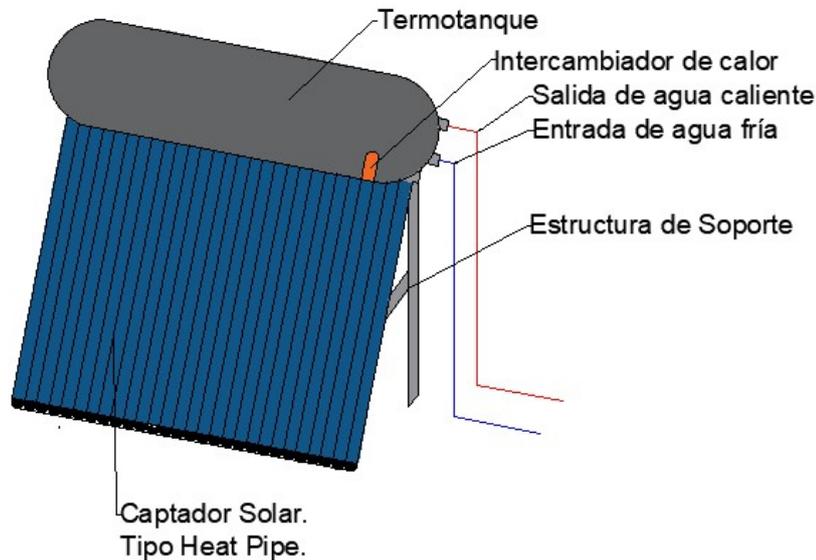


Figura 2.4: Elementos de una instalación solar térmica.

método para la recolección varía entre los distintos dispositivos [22]. Algunos de estos captadores son:

- **Captador solar plano:** El captador solar plano es el elemento principal para la producción de energía solar térmica, donde su función principal es absorber la energía radiante a través de una placa de absorción y convertirla en energía térmica de baja temperatura, este tipo de energía es usado tanto para uso doméstico o comercial con el fin de producir calor en un ambiente o para el calentamiento de agua sanitaria (ACS). [23].
- **Colector de tubo de vacío:** Este tipo de captador tiene el mismo principio de un captador solar plano, es decir, tiene una placa de absorción solar pero repartida en diferentes secciones, a estas placas se le añade un tubo que contiene un líquido humificante con baja densidad que pueda evaporarse fácilmente con el aumento de temperatura. Para evitar las pérdidas por convección se le añade un tubo de vidrio empacado al vacío que disminuye las pérdidas térmicas hasta un 5% lo que le da un índice de eficiencia mucho más elevado a otros sistemas similares[24].

Al exponer la tubería a la radiación solar, el líquido contenido se humidifica y sube hasta la punta del conductor para que

realice una transferencia de calor al agua corriente del colector, para calentarla e integrarla a la red de la casa. Lo mencionado se muestra en la figura 2.5.

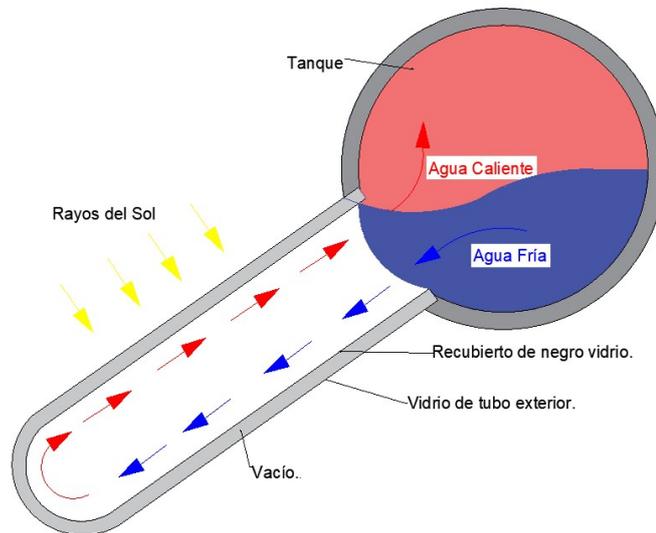


Figura 2.5: Colector de tubo de vacío.

- **Colector modelo Heat Pipe:** Estos tipos de colectores son más avanzados que el tubo de vacío, dentro de cada tubo existe una varilla de cobre Heat Pipe, mediante una pipeta condensadora se une al acumulador del calentador solar, esto en conjunto hará la función de transmitir calor al circuito primario. En la figura 2.6 se muestra como es el modelo Heat Pipe [25] [11].

A lo expuesto, la instalación de este tipo de colector necesita algunos equipos eléctricos y mecánicos básicos para su normal funcionamiento, entre ellos están: el sistema hidráulico de distribución de agua con bombas y válvulas, un tanque de almacenamiento y el sistema de mando digital, que controle las funciones de todo el sistema [26].

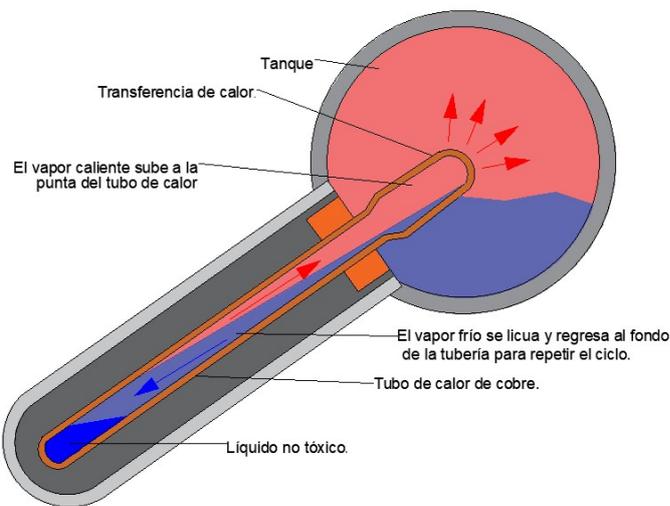


Figura 2.6: Colector tipo Heat Pipe.

- **Acumulador o Termotanque.**

El acumulador es el que juega un papel importante en el diseño del sistema solar térmico, porque es donde el agua se mantendrá en buenas condiciones para ser usada por el usuario. Es importante indicar que para el diseño del acumulador se debe tener presente la cantidad de agua que se va a usar a diario porque de eso dependerá la capacidad que debe ser el acumulador o también llamado termotanque [27].

- **Intercambiador de calor.**

Con ayuda del intercambiador de calor se puede transportar toda la energía obtenida por los captadores solares hacia los acumuladores o termotanques, permitiendo que el agua se mantenga en su temperatura; es necesario indicar que los intercambiadores solares disponen de entradas y salidas para agua fría y caliente [27].

2.1.1.3. Ventajas y Desventajas de la energía solar.

a) **Ventajas:**

- Energía limpia que no posee contaminantes para el aire.
- Este tipo de energía es renovable e inagotable.
- Energía económica permitiendo recuperar la inversión inicial en poco tiempo.

- Es beneficioso en lugares aislados donde no pueda llegar la red eléctrica.
- Este tipo de energía evita el consumo de combustibles dañinos para el medio ambiente.

b) **Desventajas:**

- La implementación del sistema en un inicio tiene costos demasiados elevados.
- Dependiendo de las características del sistema a implementar, se necesita un área de instalación grande.
- Este tipo de energía es intermitente [28] [29].

2.2. Calefacción.

La calefacción se produce a través de la radiación solar, con ayuda del calentador solar térmico por medio del suelo radiante, hará que toda la vivienda este calentada, haciendo que los usuarios se sientan satisfechos con la temperatura emitida por dicho sistema.

2.2.1. Suelo Radiante.

El suelo radiante está conformado por un conjunto de tuberías, que son colocadas bajo el piso de la vivienda, produciendo calor a todos los ambientes donde se encuentre este tipo de circuito. El agua caliente circula por este sistema haciendo que el usuario se sienta satisfecho a cualquier hora del día o noche, la temperatura tornará homogénea tanto en invierno o verano, según como ésta sea controlada. El suelo radiante puede ser implementado en cualquier tipo de ambiente como: viviendas, hospitales, oficinas, centros educativos, etc.[30]

2.2.1.1. Configuración de los circuitos de tuberías:

Para que la temperatura sea homogénea en todo el espacio a calentar, es necesario utilizar un tipo de diseño de los circuitos de circulación. Los diseños son:

a) **Sistema en espiral.**

Este tipo de sistema es el más usado, porque la temperatura es distribuido con más homogeneidad por todo el local, siendo una ventaja de este sistema.

Al ser tipo espiral la tubería da la vuelta y las curvas que forma son poco pronunciadas, este tipo de sistemas se recomienda usar en locales que tengan una geometría sencilla. La figura 2.7 indica la forma de instalación de este sistema [31] [27].

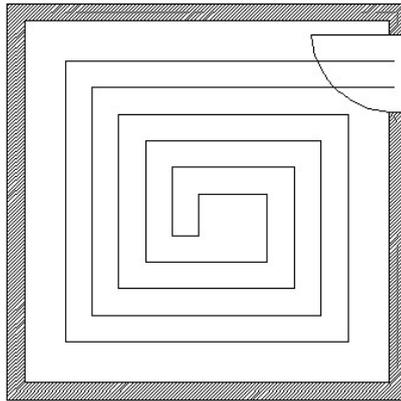


Figura 2.7: Sistema en espiral.

b) **Sistema doble espiral.**

Son usados en locales mas reducidos, donde con ayuda del panel de tetones la tubería se fija y permite que todo quede seguro, para este diseño ambas tuberías se encuentran en paralelo; es más usado en locales que contengan una geometría más compleja. La figura 2.8 indica el esquema del sistema doble espiral [31] [27].

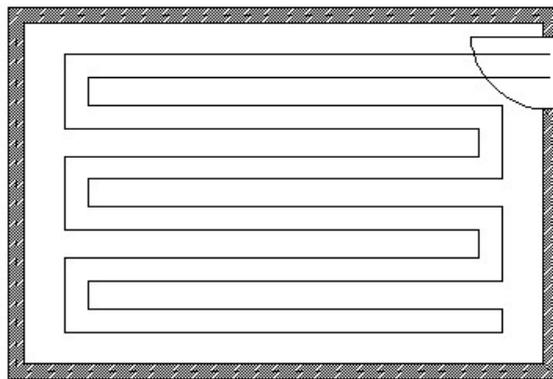


Figura 2.8: Sistema doble espiral.

2.2.1.2. Ventajas del uso del suelo radiante:

- Sistema económico.
- Fácil de colocar.
- Ocupa poco espacio en la vivienda.
- Sistema seguro y limpio.
- Se adapta a cualquier tipo de pavimento [30].

2.2.2. Calefacción de suelo radiante por agua caliente:

El suelo radiante por agua caliente funciona a partir de la energía solar térmica, donde se necesita de un termotanque, que permitirá que el agua se mantenga caliente y así se pueda distribuir por todos los circuitos [30].

2.2.2.1. Elementos que componen el sistema de suelo radiante:

Los elementos que se usan para la implementación del suelo radiante por agua caliente son los siguientes:

- **Colector de distribución:** Los colectores son usados para colocar cada circuito por separado que van a calentar los diferentes espacios de la vivienda. Para que los colectores funcionen correctamente es aconsejable colocarlos en un plano más elevado que los circuitos, esto ayuda a la purga del aire. La vivienda que analizaremos esta formada por 2 plantas: la primera planta esta compuesta por 2 circuitos y en la segunda planta se tiene 3 circuitos. A partir de este análisis se usaran 2 colectores, uno de 2 vías y otro de 3 vías [32].
- **Tubería:** Se usa en todo el circuito de suelo radiante y es por donde se transportará el agua caliente que permitirá calentar la vivienda, el tipo de tubería a usar dependerá del caudal presentado por el agua [27].
- **Lámina Film de polietileno:** Este tipo de papel film es transparente y sirve de protección para evitar que la humedad pase hacia el circuito, este tipo de lámina es colocado bajo el panel de tetones [27] [33].
- **Zócalo perimetral:** Es una tira adhesiva en la parte exterior e inferior de la misma, que evitará que la humedad entre por los laterales donde se colocará el circuito, es colocado en las bases de las paredes a la altura que vaya a ir el suelo, para que así éste se encargue de cubrir todo el circuito [27] [33].

- **Panel de tetones:** Son usados para fijar la tubería, sirven de aislantes térmicos y acústicos, son ubicados sobre la lámina film de polietileno. Sobre este panel se puede colocar la tubería a una distancia de 10, 15, 20, 25 o 30 cm [33].
- **Mortero de cemento:** Para terminar con la implementación de este sistema es necesario al final colocar una capa de cemento, esto ayudará a que todo quede protegido; sobre esta capa se puede revestir el suelo ya sea de parquet, cerámica, etc. [32]

En la figura 2.9 se muestra una idea de la estructura bajo el pavimento del suelo de la vivienda.

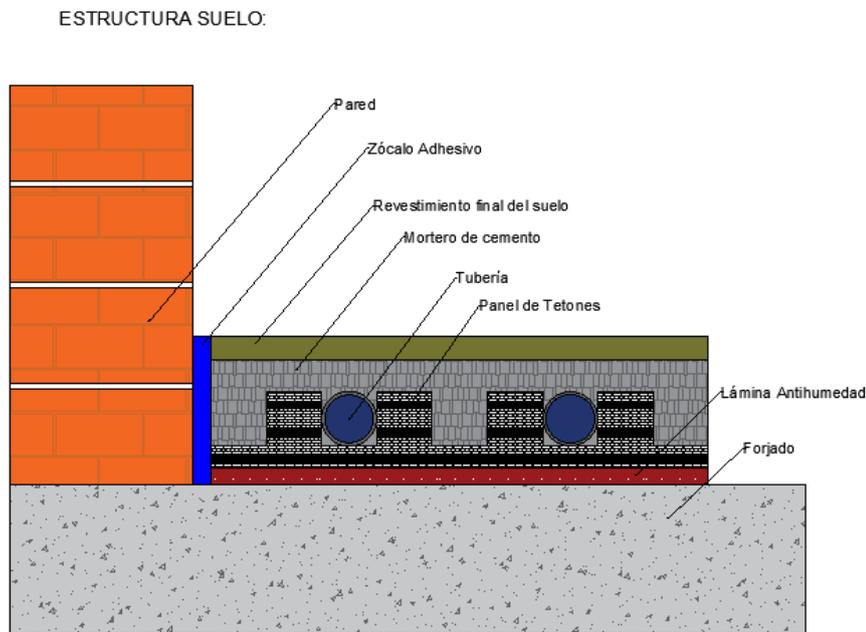


Figura 2.9: Estructura bajo el pavimento.

2.2.2.2. Elementos adicionales para el sistema de calefacción:

- **Bombas de circulación:** Las bombas de circulación en un sistema solar térmico sirven para dirigir el fluido de un lugar a otro. Este tipo de bombas debe suministrar una cantidad de caudal que sea útil para el correcto funcionamiento del sistema [34].
- **Válvula Mezcladora:** Este tipo de elementos realiza la propiedad de abrir o cerrar el paso del fluido por las tuberías, en este caso el agua.

Existen algunos tipos de válvulas con diferentes propiedades y son: válvulas de paso, de seguridad, de retención y de tres vías [27].

- **Sonda de Impulsión:** Las sondas son las encargadas de medir la temperatura de fluido que puede ser agua o aire, para este tipo de sistemas es muy importante, ya que ayuda a que la temperatura de toda la casa sea aceptable por el usuario. Con la lectura obtenida por la sonda, la temperatura del fluido del tanque de almacenamiento hace que se regule y que sea impulsada hacia el circuito de la mejor manera [32].
- **Termostato:** Permite regular la temperatura haciendo que se mantenga siempre en un valor predeterminado, esto impide que la temperatura suba o baje de su valor requerido. Los termostatos son necesarios para colocarlos en cada circuito presente del diseño [32].
- **Centralita de Control:** Este dispositivo está formado por actuadores y sensores lo que permite tener el control de todo el sistema, los equipos deben ser colocados en lugares de fácil acceso por si se llegase a presentar una emergencia para poder llegar a controlar el sistema con facilidad y de manera eficiente [32].

2.3. Caso de Estudio - Vivienda Unifamiliar en zona urbana.

El estudio se realizará a una vivienda unifamiliar (4 a 5 personas), donde usando los recursos de la energía solar se dimensionará el sistema fotovoltaico, con el fin de producir electricidad para el consumo de la vivienda; y un sistema de energía solar térmica que será aprovechado para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y Calefacción por medio de la tecnología de suelo radiante.

2.3.1. Características de la vivienda.

Para realizar el dimensionamiento e implementación del sistema solar fotovoltaico y térmico, es importante tener en cuenta los siguientes datos.

- **Ubicación de la vivienda:** Ciudad Cuenca - Sector El Vecino.
- **Latitud:** -2,90055° Latitud Norte.
- **Longitud:** -79,00453° Longitud Oeste.

- **Elevación:** 2550 m.
- **Área de Terreno:** 102,75 m²
- **Área de construcción de la vivienda:** 83,43 m²
- **Área útil:** 10 m²

En la tabla 2.1 se indican los espacios que conforman la vivienda.

Tabla 2.1: Área de cada espacio de la vivienda.

ESPACIOS	A(m)²
<i>PLANTA BAJA</i>	
Cocina-Comedor	22,20
Sala	7,85
Lavandería	4,05
Baño visita	2,14
<i>PLANTA ALTA</i>	
Recamara Principal	9,35
Recamara 1	9,69
Recamara 2	9,69
Baño Principal	2,59
Baño Compartido	4,62

Es importante indicar que los ambientes o espacios considerados para calefacción en la vivienda, son los mostrados en la tabla 2.2:

Tabla 2.2: Área y volumen de cada espacio de la vivienda a calentar.

ESPACIOS	A(m)²	V(m)³
<i>PLANTA BAJA</i>		
Cocina-Comedor	22,20	66,60
Sala	7,85	23,56
<i>PLANTA ALTA</i>		
Recamara Principal	9,35	28,04
Recamara 1	9,69	29,07
Recamara 2	9,69	29,07

2.3.1.1. Envolverte de la vivienda.

En la tabla 2.3 se indican todos los materiales que forman parte de la vivienda detallando su espesor y su conductividad térmica. Estos datos serán necesarios para los cálculos de los sistemas térmicos que se describen en la sección 3.1.1

Tabla 2.3: Características de cada material.

Tipo	Materiales	Espefor	Conductividad Térmica
		e(m)	$\lambda(\text{W}/\text{m}^\circ\text{C})$
Suelo	Hormigón	0,10	1,63
	Baldosa	0,01	1,05
Pared externa	Mortero de cemento	0,02	1,4
	Bloque hueco de hormigón	0,10	0,44
Techo	Galvanizado	0,040	
Ventana	Vidrio	0,006	
Puerta	Madera frondosa		

En la tabla 2.4 se describen las áreas de los envolvertes de cada espacio de la vivienda.

Tabla 2.4: Área de los envolventes de la vivienda.

ESPACIOS	A(m)²
<i>COCINA-COMEDOR</i>	
Paredes Exteriores	22,27
Ventana	4,90
Suelo	22,20
Techo	22,20
Puerta	1,94
<i>SALA</i>	
Paredes	13,16
Ventanas	4,06
Suelo	7,85
Techo	7,85
<i>RECAMARA PRINCIPAL</i>	
Paredes	16,16
Ventana	1,04
Suelo	9,54
Techo	9,54
<i>RECAMARA 1</i>	
Paredes	17,72
Ventana	1,04
Suelo	9,69
Techo	9,69
<i>RECAMARA 2</i>	
Paredes	18,75
Ventana	1,04
Suelo	9,69
Techo	9,69

2.4. Datos climatológicos.

Los datos fueron captados por la estación meteorológica que se encuentra instalada en la Universidad Politécnica Salesiana, matriz Cuenca, los datos descargados corresponden al año 2020. Para el dimensionamiento de los sistemas se consideraron los siguientes datos climatológicos:

- Irradiación promedio mensual máximo en una superficie horizontal (kWh/m²/día):

Tabla 2.5: Promedio de Irradiación mensual máxima.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Prom	4,96	4,88	4,89	3,96	4,37	4,20	3,68	5,13	4,41	4,66	4,92	5,04

- Temperatura Ambiente(°C):

Tabla 2.6: Promedio de Temperatura Ambiente.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Prom	16,1	16,5	16,2	15,2	15,9	15,0	14,2	14,5	14,4	14,7	14,8	15,5

Además se utilizó información de la estación satelital Nasa Power, se consideraron los siguientes datos climatológicos:

- Horas de luz diurna promediadas mensualmente (horas):

Tabla 2.7: Promedio de Horas luz diurna.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Prom	12,25	12,2	12,12	12,05	11,98	11,97	11,97	12,02	12,1	12,17	12,23	12,28

- Número equivalente de días sin sol (días):

Tabla 2.8: Promedio de días sin sol.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Prom	2,33	2	2,1	1,87	1,64	1,67	2,1	2,75	2,37	1,9	2,91	3,11

- Temperatura media mensual de la superficie de la tierra (°C):

Tabla 2.9: Promedio de Temperatura.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Prom	14,07	13,9	13,75	13,53	12,84	11,81	11,4	11,83	12,83	13,75	14,13	14,17

2.5. Análisis del sistema térmico sustentable para la vivienda.

El sistema térmico solar permite la obtención de agua caliente, la misma que se usará para calentar la vivienda y de uso sanitario para el usuario.

2.5.1. Metodología para el dimensionamiento del sistema de Calefacción:

Para realizar el dimensionamiento del sistema de calefacción es importante tener en cuenta la carga térmica de la vivienda, el caudal y la temperatura del agua; además de la longitud total de las tuberías a usarse para el sistema del suelo radiante. A continuación, se justificará cada variable térmica empleada en el cálculo de este sistema con sus respectivas ecuaciones.

2.5.1.1. Cargas térmicas de calefacción (Q):

Para determinar la carga térmica total de la vivienda es necesario tener en cuenta los materiales que la componen, cada material debe tener como característica propia el espesor y la conductividad térmica; la ecuación para calcular la carga térmica de calefacción es [27]:

$$Q = Q_t + Q_v + Q_i \quad (2.1)$$

Donde:

$Q_t(W)$: Carga térmica de transmisión de calor.

$Q_v(W)$: Carga térmica de ventilación.

$Q_i(W)$: Ganancia interna de calor.

a) Carga térmica de transmisión de calor (Q_t):

La carga térmica está compuesta por las pérdidas producidas por el calor, es dado por el envolvente de la vivienda. Para obtener este valor se aplicará la ecuación ecuación [27]:

$$Q_t = Q_{to}(1 + Z_{IS} + Z_O)(W) \quad (2.2)$$

Donde:

Q_{to} (W): Pérdidas por transmisión sin suplementos.

Z_{IS} (%): Suplemento por interrupción de servicio.

Z_O (%): Suplemento por orientación.

A su vez, es necesario calcular cada parámetro de esta ecuación:

■ **Pérdidas por transmisión sin suplementos Q_{to} :**

Este tipo de pérdidas depende del coeficiente de transmisión térmico, la variación de la temperatura tanto del exterior como del interior de la vivienda y también la superficie de cada sector de la vivienda. La ecuación para obtener la pérdida por transmisión sin suplementos es [27]:

$$Q_{to} = \sum [U * A * (T_i - T_e)](W) \quad (2.3)$$

Donde:

U (W/m²°C): Coeficiente de transmisión térmica.

A (m²): Área de cada envolvente a analizar de la vivienda.

T_i (°C): Temperatura interna confort de la vivienda. Según la norma UNE EN 1264 la temperatura confort dentro de una vivienda es de 20 °C.

T_e (°C): Temperatura exterior de la vivienda.

Coeficiente de transmisión térmica (U):

Este coeficiente varía de acuerdo a las características propias de cada material. La fórmula para calcular este coeficiente es [32]:

$$U = \frac{1}{\sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h}} (W/(m^2 \cdot ^\circ C)) \quad (2.4)$$

Donde:

λ ($\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$): Conductividad térmica respecto al material a analizar.

e (m): Espesor respecto al material a analizar.

h ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$): Coeficiente de transmisión de calor del suelo. Según la norma UNE EN 1264 esta variable varía entre 10 y 12 ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$).

■ **Suplemento por interrupción de servicio Z_{IS} :**

Existen reglamentos que exigen que se debe interrumpir el servicio de calefacción para obtener un ahorro energético, esta interrupción se la realiza en ciertas horas del día. Es necesario indicar que esto

depende de la clase de servicio que se requiere tener, según eso se procede a aplicar la interrupción [35].

En la tabla 2.10 se presentan algunos casos en los que puede producirse la interrupción del servicio.

Tabla 2.10: Coeficiente de Z_{IS} .

Servicio ininterrumpido, aunque con marcha reducida durante la noche.	5 %
Interrupción del servicio entre 9 y 12 horas diarias.	10 %
Interrupción del servicio entre 12 y 16 horas diarias.	15 %

▪ **Suplemento por Orientación Z_O :**

Esto se debe a la orientación que presentan las paredes exteriores de la vivienda, con el fin de obtener el mayor aporte de la energía solar. Existen algunos criterios para poder interpretar esta variable, todas estas propuestas dependen de la exposición solar que tenga las paredes de la vivienda [35], estas son:

- Si se tiene una sola exposición solar de la vivienda, se toma solamente esta.
- Si se tiene dos exposiciones solares, se toma solamente la de la esquina.
- Si se tiene tres o más exposiciones solares, se toma la que tenga un mayor coeficiente.
- Si no existe exposición solar en toda la vivienda, entonces este valor se omite.

En la siguiente tabla se indica todos los factores que forman parte de este suplemento:

Tabla 2.11: Coeficiente de Z_O .

Orientación	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
Z_O (%)	0	0	0	8,75	26,8	26,8	17,63	0

b) **Carga térmica de Ventilación (Q_v):** Corresponde a las pérdidas de energía que se presentan por el aire que ingresa hacia el interior de la vivienda. Este factor se obtiene a partir de la siguiente ecuación [36]:

$$Q_v = \eta * V_a * \rho * C_p * (T_i - T_e)(W) \quad (2.5)$$

Donde:

η : Número de renovaciones. La norma UNE-EN 12831 indica que como mínimo se debe emplear 1 ren/h.

$V_a(\text{m}^3)$: Volumen de los espacios de la vivienda que se van a calentar.

$\rho(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})$: Densidad.

$C_p(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}})$: Calor específico del aire.

T_i ($^\circ\text{C}$): Temperatura interna confort de la vivienda.

T_e ($^\circ\text{C}$): Temperatura exterior de la vivienda.

- c) **Carga interna de calor (Q_i):** La vivienda cuenta con ganancias internas y esto se debe a los ocupantes que habitan en la misma, pero para el diseño del suelo radiante se recomienda que la ganancia interna de calor tenga un valor de 0, considerando las condiciones más desfavorables [27].

$$Q_i = 0(W) \quad (2.6)$$

2.5.1.2. Dimensionamiento del suelo radiante.

- a) **Emisión Térmica (q):**

Para el cálculo de la emisión térmica se considerará el área y la carga térmica de cada espacio de la vivienda a calentar. Partiendo de esto se puede usar la siguiente ecuación [35]:

$$q = \frac{Q}{A_a} \left(\frac{W}{\text{m}^2} \right) \quad (2.7)$$

Donde:

$Q(W)$: Carga térmica de la vivienda.

$A_a(\text{m}^2)$: Área de los espacios de la vivienda que se van a calentar.

- b) **Longitud de los circuitos (L):**

Para el diseño de cada circuito es necesario calcular la longitud para cada uno de los circuitos que se implementarán en la vivienda, este dato es importante para calcular las pérdidas de carga. La Norma UNE-EN 1264 menciona que la longitud máxima para cada circuito debe ser de máximo 120m para cualquier circuito analizado [31].

$$L = \frac{A_a}{d} + 2L_c(m) \quad (2.8)$$

Donde:

A_a (m^2): Área de los espacios de la vivienda que se van a calentar.

$d(m)$: Distancia entre tubos.

$L_c (m)$: Distancia entre el colector y el circuito del espacio a calentar.

c) **Temperatura interior (T_i):**

La temperatura interior hace relación a la temperatura confort de la vivienda, la Norma UNE-EN 1264 indica que la temperatura confort recomendable al interior de una vivienda va desde los 18 a los 20°C [36].

d) **Temperatura media de la superficie del suelo (T_{MS}):**

Es necesario calcular la temperatura del pavimento, de esto dependerá la eficiencia del sistema. La Norma UNE EN 1264 menciona que, la temperatura media de la superficie del suelo no debe ser mayor a 29°C en zonas que los habitantes pasen permanentemente [32]. La ecuación que se usa para el cálculo de la temperatura media de la superficie del suelo es la siguiente:

$$T_{MS} = \frac{q}{h} + T_i(^{\circ}C) \quad (2.9)$$

Donde:

$q(\frac{W}{m^2})$: Emisión Térmica.

$h(W/m^2^{\circ}C)$: Coeficiente de transmisión de calor del suelo. Según la norma UNE-EN 1264 esta variable varía entre 10 y 12 ($W/m^2^{\circ}C$). El valor escogido es de 12 ($W/m^2^{\circ}C$).

$T_i(^{\circ}C)$: Temperatura interior.

Es importante indicar que la temperatura media de la superficie del suelo se calcula para cada espacio de la vivienda que se va a calentar.

e) **Temperatura del Agua:**

▪ **Coeficiente de transmisión térmica de la capa sobre tubos (U_a).**

Después de haber colocado la tubería sobre el pavimento para el suelo radiante, se debe calcular el coeficiente de transmisión de los materiales usados sobre la tubería en dirección ascendente, de cada material dependerá el espesor y la conductividad térmica; a partir de estos datos se procede a calcular la resistencia térmica con la siguiente ecuación [32]:

$$R_a = \frac{e}{\lambda} \left(\frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{W} \right) \quad (2.10)$$

Donde:

$e(m)$: Espesor respecto al material a analizar.

$\lambda(\frac{W}{m}^{\circ}C)$: Conductividad térmica respecto al material a analizar.

Con estos datos se usa la ecuación 2.11 para calcular el coeficiente de transmisión térmica de la capa sobre tubos [32]:

$$U_a = \frac{1}{R_a + \frac{1}{h}} (W/m^2 \cdot ^{\circ}C) \quad (2.11)$$

Donde:

$R_a(\frac{m^2}{W}^{\circ}C)$: Resistencia térmica.

$h(W/m^2^{\circ}C)$: Coeficiente de transmisión de calor del suelo. El valor escogido es de 12 (W/m² °C).

f) **Temperatura media del agua en las tuberías (T_a).**

Teniendo en cuenta el área, la temperatura interior y la carga térmica de cada espacio de la vivienda, se procede a calcular la temperatura media del agua perteneciente a las tuberías emisoras que pertenecen a cada circuito de la vivienda; para esto usaremos la siguiente ecuación [32]:

$$T_a = T_i + \frac{Q}{A_a * U_a} (^{\circ}C) \quad (2.12)$$

Donde:

$T_i(^{\circ}C)$: Temperatura interior.

$Q(W)$: Carga térmica de cada espacio de la vivienda a calentar.

$A_a(m^2)$: Área de los espacios de la vivienda que se van a calentar.

$U_a (W/(m^2^{\circ}C))$: Coeficiente de transmisión térmica de la capa sobre tubos.

Al obtener los datos de la temperatura media del agua en las tuberías pertenecientes a cada circuito de la vivienda se toma el valor mayor y este forma parte de la temperatura de impulsión del sistema. Para la temperatura de retorno, se hace referencia a un 10 % de pérdida de la temperatura de impulsión. [32].

g) **Caudal del Agua (C_a).**

Es importante calcular el caudal del agua que atraviesa la tubería perteneciente a cada circuito en un tiempo determinado, para obtener el caudal se aplica la siguiente ecuación [27]:

$$C_a = \frac{Q}{C_w * (T_{imp} - T_{rep})} \left(\frac{l}{s}\right) \quad (2.13)$$

Donde:

$Q(W)$: Carga térmica de cada espacio de la vivienda a calentar.

$C_w(\frac{J}{KgK})$: Calor específico del agua, 4182(J/KgK).

T_{imp} (°C): Temperatura de impulsión del sistema.

T_{ret} (°C): Temperatura de retorno del sistema.

Al obtener el caudal del agua por cada circuito se puede realizar una sumatoria de todos los datos para obtener el caudal total del circuito.

h) Red de distribución.

- **Pérdida de carga lineal:**

La pérdida de carga lineal es designada en la tubería de conexión entre el colector de distribución y el calentador solar. Para realizar este análisis se tomará como base el diagrama indicado en el **Anexo I** [27] [35].

- **Pérdida de carga de cada circuito:**

La pérdida de carga de cada sistema dependerá del valor mayor entre todos los trazados posibles realizados en el diagrama, dependiendo del caudal característico de cada circuito que conformará el sistema de suelo radiante de la vivienda. Se tomará como referencia el diagrama de tuberías de Uponor indicado en el **Anexo II**, a partir de este diagrama se reflejará el tipo de tubería con todas sus dimensiones que será usada en el sistema de suelo radiante [27] [35].

- **Pérdida de carga en cada colector:**

Al hacer este análisis se debe tomar en cuenta cuantos circuitos abastece el sistema y el caudal total, a partir de estos datos se analiza en el diagrama descrito en el **Anexo III**, obtenido en el catálogo de Uponor [27] [35].

- **Pérdida de carga en accesorios:**

Para realizar el análisis de las pérdidas de carga en accesorios se hace referencia a un 10% de las pérdidas de carga del sistema, aquí se toma en cuenta los accesorios como codos, válvulas, entre otros materiales usados en el sistema [27] [35].

- **Pérdida de carga del sistema:**

Consiste en realizar la suma entre todas las pérdidas de carga obtenida, la ecuación es [27]:

$$P_{CargaSistema} = P_{CargaTotal} + P_{CargaAccesorios} \quad (2.14)$$

- **Selección de Bomba:**

Teniendo en cuenta los valores del caudal y altura obtenida a partir

de la pérdida, se busca una bomba que cumpla con las características obtenidas a partir del cálculo [35].

Capítulo 3

METODOLOGÍA PROPUESTA, dimensionamiento de los sistemas térmicos y eléctrico sustentables

3.1. Cálculo para el sistema de calefacción.

3.1.1. Coeficiente de transmisión térmica (U):

Es necesario indicar que el coeficiente de transmisión térmica debe ser calculado para cada tipo de envolvente de la vivienda, el coeficiente de transmisión de calor del suelo para esta propuesta es de $12 \text{ (W/m}^2 \text{ °C)}$.

A partir de estos datos se calcula dicho coeficiente para cada tipo de envolvente de la vivienda:

▪ SUELO:

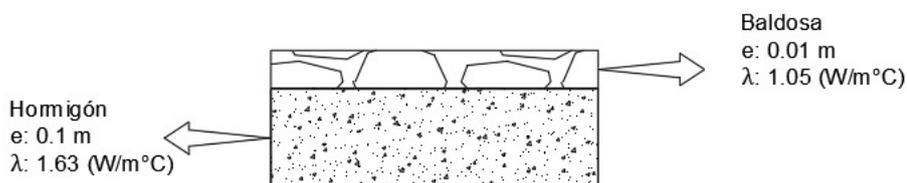


Figura 3.1: Capas del suelo.

Con las características descritas en la figura 3.1 se tiene que el coefi-

ciente de transmisión para el suelo es de:

$$U = 6,48(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$$

■ **PAREDES EXTERIORES:**

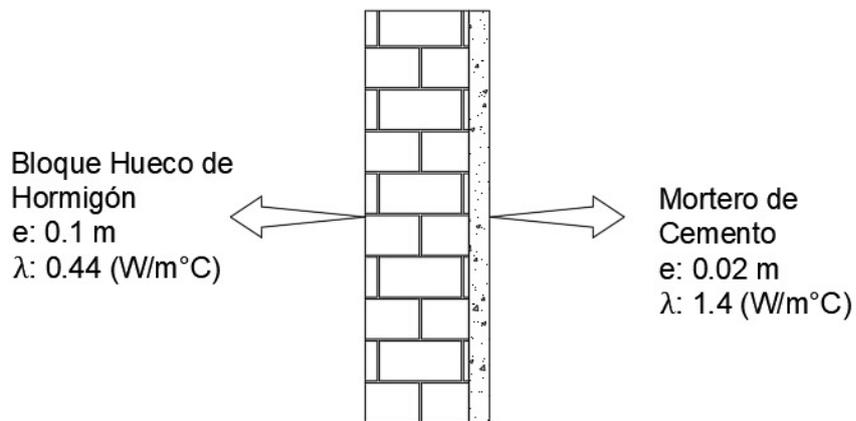


Figura 3.2: Capas de pared exterior.

Con las características descritas en la figura 3.2 se tiene que el coeficiente de transmisión para paredes exteriores es de:

$$U = 3,08(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$$

Para algunos envoltentes y con base al tipo de material se proporciona la información del coeficiente de transmisión térmica, estos son:

■ **TECHO:**

$$U = 1,28(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$$

■ **VENTANA:**

$$U = 2,80(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$$

■ **PUERTA:**

$$U = 3,50(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$$

3.1.2. Temperatura Interior (T_i):

La temperatura interior recomendada por la norma UNE-EN 1264 va desde los 18 a 20°C, para este estudio la temperatura interior será de:

$$T_i = 19^{\circ}C$$

3.1.3. Temperatura Exterior (T_e):

Según los datos obtenidos de la estación meteorológica de la Universidad Politécnica Salesiana, indicados en la tabla 2.6 correspondiente a la temperatura ambiente de la ciudad de Cuenca, da como referencia que el mes con menor promedio de temperatura es el mes de julio, donde:

$$T_e = 14^{\circ}C$$

3.1.4. Pérdidas por transmisión sin suplementos (Q_{to}):

Para realizar el cálculo de las pérdidas por transmisión sin suplementos se hará relación al coeficiente de transmisión térmica obtenido en el cálculo anterior, además del área de cada uno de los envolventes de los espacios que compone la vivienda indicado en la tabla 2.4 ,tomando como base la ecuación (2.3). En la tabla 3.1 se demuestra las pérdidas por transmisión sin suplementos obtenidas a través del cálculo respectivo:

$$Q_{to} = \sum [U * A * (T_i - T_e)](W)$$

Tabla 3.1: Pérdidas por transmisión sin suplementos de cada envolvente de la vivienda.

ESPACIO	ENVOLVENTE	Qto(W)
Cocina-Comedor	Paredes Exteriores	342,65
	Ventana	68,60
	Suelo	719,81
	Techo	142,08
	Puerta	33,86
<i>Total</i>		1307,01
Sala	Paredes Exteriores	202,49
	Ventana	56,88
	Suelo	254,61
	Techo	50,26
<i>Total</i>		564,26
Recamara Principal	Paredes Exteriores	248,62
	Ventana	14,49
	Suelo	309,16
	Techo	61,02
<i>Total</i>		633,30
Recamara 1	Paredes Exteriores	272,63
	Ventana	14,49
	Suelo	314,19
	Techo	62,02
<i>Total</i>		663,32
Recamara 2	Paredes Exteriores	288,56
	Ventana	14,49
	Suelo	314,19
	Techo	62,02
<i>Total</i>		679,25

3.1.5. Suplemento por interrupción de servicio (Z_{IS}):

En la tabla 2.10 se presenta los casos en los que se puede producir la interrupción del servicio, en este caso de estudio se hará relación al servicio ininterrumpido, aunque con marcha reducida durante la noche, dicho suplemento es de:

$$Z_{IS} = 5\%$$

3.1.6. Suplemento por orientación (Z_O):

Para este estudio se hace relación que las paredes exteriores de la vivienda tienen tres exposiciones solares, a partir de este criterio en la tabla 2.11 se indica los factores que forman parte del suplemento por orientación. Entonces,

el suplemento por orientación para nuestro caso de estudio es de:

$$Z_O = 26,8 \%$$

3.1.7. Carga térmica de transmisión de calor (Q_t):

Para obtener la carga térmica de transmisión de calor se hará uso de la ecuación (2.2):

$$Q_t = Q_{to}(1 + Z_{IS} + Z_O)(W)$$

Donde:

$Q_{to}(W)$: Pérdidas por transmisión sin suplementos, se muestran en la tabla 3.1.

$$Z_{IS}=5 \%$$

$$Z_O=26,8 \%$$

Y calculando para cada espacio a calentar se obtiene:

Tabla 3.2: Carga térmica de transmisión de calor.

ESPACIO	$Q_t(W)$
Cocina-Comedor	1722,64
Sala	743,66
Recamara Principal	834,69
Recamara 1	874,26
Recamara 2	895,25
Total	5070,49

3.1.8. Carga térmica de ventilación (Q_v):

Este factor se obtiene a partir de la ecuación (2.5) :

$$Q_v = \eta * V_a * \rho * C_p * (T_i - T_e)(W)$$

Donde:

$$\eta = 1\left(\frac{ren}{h}\right)$$

$$V_a=176,34(m^3) \text{ (Volumen total de la vivienda)}$$

$$\rho = 1,2\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$$

$$C_p = 1\left(\frac{KJ}{Kg^\circ C}\right)$$

$$T_i = 19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_e = 14 \text{ }^\circ\text{C}$$

Reemplazando todos los datos en la ecuación (2.5) se tiene una carga térmica de ventilación de:

$$Q_v = 1058,04(W)$$

3.1.9. Ganancia interna de calor (Q_i):

Considerando las condiciones más desfavorables se tiene que:

$$Q_i = 0(W)$$

3.1.10. Cargas térmicas de calefacción (Q):

La carga térmica de calefacción se calcula a partir de la ecuación (2.1):

$$Q = Q_t + Q_v + Q_i(W)$$

$$Q = 6128,53(W)$$

3.1.11. Cálculo para la implementación del Suelo Radiante.

Para iniciar con el dimensionamiento del suelo radiante se tendrá presente la tabla 2.2 donde indica el área y volumen de los espacios de la vivienda que se van a calentar.

Anteriormente se calculó la carga térmica de transmisión de calor para cada espacio, como se muestra en la tabla 3.1. A partir de esto se calcula la carga térmica de ventilación para cada espacio de la vivienda, tomando en cuenta el volumen perteneciente a cada uno. Al usar la ecuación (2.5) se obtiene:

$$Q_v = \eta * V_a * \rho * C_p * (T_i - T_e)(W)$$

Tabla 3.3: Carga térmica de ventilación.

ESPACIO	Q_v(W)
Cocina-Comedor	399,60
Sala	141,35
Recamara Principal	168,26
Recamara 1	174,42
Recamara 2	174,42

A partir de la carga térmica de transmisión de calor y la carga térmica de ventilación se procede a calcular la carga térmica de calefacción por cada espacio perteneciente a la vivienda, entonces:

$$Q = Q_t + Q_v(W)$$

Tabla 3.4: Datos de la carga térmica de calefacción.

ESPACIO	Q (W)
Cocina Comedor	2122,24
Sala	885,00
Recamara Principal	1002,94
Recamara 1	1048,68
Recamara 2	1069,67

3.1.11.1. Emisión Térmica (q).

Se usa la ecuación (2.7):

$$q = \frac{Q}{A_a} \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Donde:

Q(W): Carga térmica de la vivienda, indicado en la tabla 3.4 .

A_a(m²): Área de los espacios de la vivienda que se van a calentar, indicados en la tabla 2.2.

Tabla 3.5: Emisión térmica de cada espacio de la vivienda.

ESPACIO	q(W/m²)
Cocina Comedor	95,60
Sala	112,70
Recamara Principal	107,30
Recamara 1	108,22
Recamara 2	110,39

3.1.11.2. Longitud de los circuitos (L).

Se usará la ecuación (2.8) para analizar la longitud perteneciente a cada circuito:

$$L = \frac{A_a}{d} + 2L_c(m)$$

Donde:

A_a (m²): Área de los espacios de la vivienda que se van a calentar, indicados en la tabla 2.2.

$d=0,20$ (m)

L_c (m): Distancia entre el colector y el circuito del espacio a calentar.

La distancia existente entre el colector de distribución y el circuito del espacio a calentar para la planta baja, se tomará en referencia al lugar donde se encuentre el colector de distribución, éste será ubicado en la lavandería de la vivienda perteneciente a la planta baja. El colector de distribución perteneciente a la planta alta estará ubicado en una sección del baño compartido, este análisis se toma en cuenta por que la altura máxima entre el piso a calentar y el colector de distribución debe ser de 1 m.

Partiendo de este punto se medirá la distancia existente hasta cada espacio de la vivienda que se va a calentar. A continuación, en la tabla 3.6 se indica las distancias pertenecientes a cada espacio:

Tabla 3.6: Distancia entre colector y el circuito del espacio.

ESPACIO	L_c(m)
<i>PLANTA BAJA</i>	
Cocina-Comedor	1,00
Sala	5,00
<i>PLANTA ALTA</i>	
Recamara Principal	4,70
Recamara 1	4,30
Recamara 2	3,00

Con estos datos se procede a realizar el calculo de la longitud de cada circuito:

Tabla 3.7: Longitud de tubería a utilizar en cada espacio de la vivienda.

ESPACIO	L (m)
Cocina Comedor	113
Sala	49,26
Recamara Principal	56,14
Recamara 1	57,05
Recamara 2	54,45
Total	329,90

3.1.11.3. Temperatura media de la superficie del suelo (T_{MS}).

La ecuación (2.9) se usa para obtener la temperatura media de la superficie del suelo en cada espacio perteneciente a la vivienda a estudiar.

$$T_{MS} = \frac{q}{h} + T_i(^{\circ}C)$$

Donde:

$q(\frac{W}{m^2})$: Emisión Térmica, indicada en la tabla 3.5.

$h=12$ (W/m²°C)

$T_i=19(^{\circ}C)$

Tabla 3.8: Temperatura media de la superficie del suelo.

ESPACIO	T_{MS} (°C)
Cocina Comedor	26,97
Sala	28,39
Recamara Principal	27,94
Recamara 1	28,02
Recamara 2	28,20

3.1.11.4. Resistencia térmica (R_a).

Para obtener el coeficiente de transmisión térmica de la capa sobre los tubos es necesario primero calcular la resistencia térmica para cada material colocado sobre los tubos, para esto se usará la ecuación (2.10):

$$R_a = \frac{e}{\lambda} \left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right)$$

Donde:

$e(m)$: Espesor respecto al material a analizar.

$\lambda(\frac{W}{m^\circ C})$: Conductividad térmica respecto al material a analizar.

En la tabla 3.9 se indica los materiales con sus respectivos valores de espesor y conductividad térmica, que van colocados en dirección ascendente sobre los tubos:

Tabla 3.9: Material colocado sobre los tubos.

Materiales:	e(m)	$\lambda(W/m^\circ C)$
Baldosa	0,01	1,05
Hormigón	0,1	1,63

Entonces la resistencia térmica de los siguientes materiales es de:

- *Baldosa:*

$$R_a = 0,01 \left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right)$$

- *Hormigón armado:*

$$R_a = 0,06 \left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right)$$

Entre los 2 materiales se obtiene una resistencia térmica de:

$$R_a = 0,07\left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right)$$

A partir de estos datos se procede a calcular el coeficiente de transmisión térmica de la capa sobre tubos, se usa la ecuación (2.4):

$$U = \frac{1}{R_a + \frac{1}{h}}(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$$

Donde:

$$R_a = 0,04\left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right)$$

$$h = 12\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$$

Entonces:

$$U = 6,48(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$$

3.1.11.5. Temperatura media del agua en las tuberías (T_a).

Para hallar dicha temperatura se usa la ecuación (2.12).

$$T_a = T_i + \frac{Q}{A_a * U_a}(^\circ C)$$

Donde:

$$T_i = 19(^\circ C)$$

Q(W): Carga térmica de cada espacio de la vivienda a calentar, indicada en la tabla 3.4.

$A_a(m^2)$: Área de los espacios de la vivienda que se van a calentar, indicados en la tabla 2.2.

$$U_a = 6,48(W/(m^2 \cdot ^\circ C))$$

La temperatura se calcula por cada espacio perteneciente a la vivienda, dichos datos son:

Tabla 3.10: Temperatura media del agua.

ESPACIO	$T_a(^\circ C)$
Cocina Comedor	33,74
Sala	36,38
Recamara Principal	35,55
Recamara 1	35,69
Recamara 2	36,02

La **temperatura de impulsión** del sistema, es el valor mayor de entre todos los datos de temperatura media del agua:

$$T_{imp} = 36,38(^{\circ}C)$$

Y la **temperatura de retorno**, se toma como referencia que se pierden 10°C al retornar, entonces:

$$T_{ret} = 26,38(^{\circ}C)$$

3.1.11.6. Caudal del agua (C_a).

Para obtener el caudal se aplica la ecuación (2.13).

$$C_a = \frac{Q}{C_w * (T_{imp} - T_{rep})} \left(\frac{l}{s}\right)$$

Donde:

Q(W): Carga térmica de cada espacio de la vivienda a calentar, indicada en la tabla 3.4.

$$C_w = 4182 \left(\frac{J}{KgK}\right)$$

$$T_{imp} = 36,38(^{\circ}C)$$

$$T_{ret} = 26,38(^{\circ}C)$$

Entonces, a partir de la ecuación se obtienen los siguientes datos:

Tabla 3.11: Caudal del agua.

ESPACIO	$C_a(l/s)$	$C_a(m^3/h)$
Cocina Comedor	0,0507	0,18
Sala	0,0212	0,076
Recamara Principal	0,0240	0,086
Recamara 1	0,0251	0,09
Recamara 2	0,0256	0,092
Total	0,1465	0,527

3.1.11.7. Dimensionamiento de red de distribución.

a) Pérdida de carga lineal:

Usando el diagrama de tuberías del fabricante Uponor, se establece un límite de pérdida de carga lineal de 0,2 kPa/m. A partir de esto se traza una línea vertical donde se refleja el valor del caudal de agua total del

sistema y a partir de esa línea se presenta la pérdida de carga lineal existente entre el calentador solar y los colectores, todo esto se muestra en el Anexo A.1

A partir de este análisis se obtienen una pérdida aproximada de:

$$P_{CargaLineal} = 0,035\left(\frac{kPa}{m}\right)$$

Partiendo de esta consideración, se refleja que para el circuito que va desde los colectores de distribución al calentador solar, se usará tubería tipo **UPONOR Aqua Pipe (PEX-a) 32x2,9 mm** siendo el diámetro y espesor respectivamente.

b) **Pérdida de carga de cada circuito:**

Para realizar este análisis se debe conocer el caudal de agua de cada circuito del espacio de la vivienda a calentar, indicado en la tabla 3.11. A partir de este dato se procede a trazar cada valor, tomando como referencia que se impondrá una tubería y a partir de esta se obtendrá las pérdidas de carga en (kPa/m).

Como indica el Anexo A.1, se obtiene la pérdida para cada espacio de la vivienda analizado:

Tabla 3.12: Pérdida de cada circuito.

ESPACIO:	C_a (l/s)	P(kPa/m)
Cocina-Comedor	0,0507	0,23
Sala	0,0212	0,05
Recamara Principal	0,0240	0,059
Recamara 1	0,0251	0,069
Recamara 2	0,0256	0,07

La pérdida de carga en (**kPa**) para cada circuito se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{Carga} = L(m) * P(kPa) \tag{3.1}$$

La longitud de cada circuito se muestra en la tabla 3.7. Con estos datos se obtiene que la pérdida de carga de cada circuito es:

Tabla 3.13: Pérdida de carga de cada circuito.

Circuitos:	P(kPa/m)	P _{Carga} (kPa)
Cocina-Comedor	0,23	25,99
Sala	0,05	2,46
Recamara Principal	0,059	3,31
Recamara 1	0,068	3,88
Recamara 2	0,07	3,81

A partir de estos resultados, se recomienda utilizar para el sistema de suelo radiante la tubería **UPONOR Une Pipe PLUS**, con dimensiones de **16x2,0** siendo el diámetro y espesor respectivamente.

La pérdida de carga total es el valor mayor de entre todos los datos obtenidos en la tabla 3.13.

$$P_{Carga_{Total}} = 25,99(kPa)$$

c) **Pérdida de carga en cada colector de distribución.**

La vivienda cuenta con dos plantas y en cada planta va colocado un colector de distribución, entonces a partir de esto se tiene que obtener el caudal del agua por cada uno:

■ **Planta Baja:**

$$C_{p_{Baja}} = C_{a1} + C_{a2}$$

$$C_{p_{Baja}} = 0,0719(l/s)$$

El análisis se interpreta en el diagrama descrito en el Anexo A.1, obtenido del manual técnico de Uponor, teniendo en cuenta que abastece dos circuitos.

La pérdida de carga del colector de distribución que se usará en la planta baja es de:

$$P_{Colec_1} = 1,4(kPa)$$

■ **Planta Alta:**

$$C_{p_{Alta}} = C_{a3} + C_{a4} + C_{a5}$$

$$C_{p_{Alta}} = 0,0746(l/s)$$

El análisis se interpreta en el diagrama descrito en el Anexo A.2, obtenido del manual técnico de Uponor, teniendo en cuenta que abastece tres circuitos.

Entonces la pérdida de carga del colector que se usará en la planta alta es de:

$$P_{Colec2} = 0,85(kPa)$$

d) **Pérdida de carga en accesorios.**

Para este análisis se toma como relación un 10 % de las pérdidas de carga total del sistema:

$$P_{CargaTotal} = 25,99(kPa)$$

Entonces la pérdida de carga en accesorios es de:

$$P_{CargaAccesorios} = 2,6kPa$$

e) **Pérdida de carga del sistema.**

Para este análisis se usa la ecuación (2.14):

$$P_{CargaSistema} = P_{CargaTotal} + P_{CargaAccesorios}$$

$$P_{CargaSistema} = 25,99 + 1,4 + 0,85 + 2,60$$

$$P_{CargaSistema} = 30,84(kPa)$$

A partir de las pérdidas de carga del sistema, se analiza el tipo de bomba que será escogida para el correcto funcionamiento del sistema.

3.1.11.8. Selección de Bomba.

Partiendo de los datos del caudal total de sistema y la altura o la pérdida de carga total del sistema se procede a buscar el tipo de bomba que cumpla con estas características:

Tabla 3.14: Características del sistema.

Caudal.	0,1465	(l/s)
	0,5276	(m ³ /h)
Altura.	30,839	(kPa)
	3,1448	m

La bomba que cumple con estas características es:

Tabla 3.15: Características de la bomba.

<i>Nombre del Producto.</i>	Bomba Wilo-Yonos PICO 25/1-6 130
<i>Características</i>	
Caudal	0,1 - 3,5 (m ³ /h)
Altura	1 - 6 (m)
Longitud efectiva	130 L0/mm
Tensión de Alimentación	1-230V ± 10 %, 50/60 Hz
Temperaturas del fluido con una temperatura ambiente máx. de +40°C	-10°C a +95°C
Temperaturas del fluido con una temperatura ambiente máx. de +25°C	-10°C a +110°C
Temperatura ambiente admisible	-10°C a +40°C
Presión de trabajo máx.	10 bar (1000kPa)
Presión de entrada mín. a +95°C/+110°C	0.3bar/1.0bar (30 kPa/100 kPa)
índice de eficiencia energética (IEE)	≤ 0.20
Peso bruto	2.0 m/kg
Unidades por paleta	202
Potencia máxima consumida	40 W
Potencia mínima consumida	4 W
Corriente de arranque	5 A



Figura 3.3: Bomba Wilo Yonos.

En la figura 3.4 se indica el esquema de las características generales que poseerá el suelo radiante de la vivienda unifamiliar.

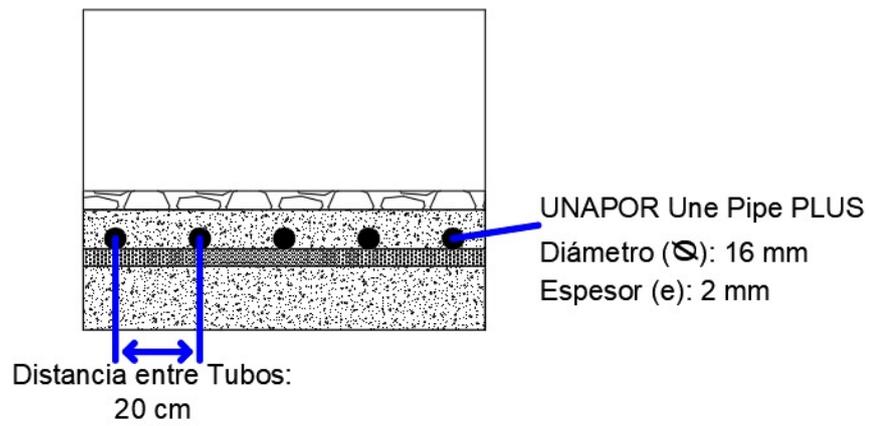


Figura 3.4: Vista frontal del suelo radiante.

Los esquemas expuestos en las figuras (3.4.1) y (3.4.2) indican la manera en como va el suelo radiante sobre la vivienda, indicando la planta baja y alta respectivamente; este diseño es realizado en el software CYPECAD MEP.

3.2. Cálculo para sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS):

Para el correcto funcionamiento del sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS) a través de la energía solar térmica, es necesario tener en cuenta el número de habitantes que tiene la vivienda, además de la cantidad de litros de agua que se consumirá por día.

Para dar inicio con el análisis es importante considerar el factor de simultaneidad que hace relación al uso de agua caliente sanitaria y que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$k = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \quad (3.2)$$

Donde:

k: Factor de simultaneidad.

n: Número de grifos de agua caliente perteneciente a la vivienda.

En la vivienda a estudiar se considera que existen 3 grifos que usarán ACS, partiendo de este dato se obtiene que el factor de simultaneidad es de:

$$k = 0,7$$

- Agua Caliente Sanitaria (ACS) por persona:

$$ACS_{u/p} = 50(l/dia)$$

- A partir del producto de factor de simultaneidad obtenido anteriormente, la cantidad de Agua Caliente Sanitaria (ACS) consumida por persona y la cantidad de personas que habitan en la vivienda que son 4, se obtiene una cantidad aproximada de:

$$ACS_{4p} = 140(l/dia)$$

3.2.1. Cantidad de agua a usar en todo el sistema térmico.

- Cantidad de agua a usar en el sistema de ACS:

$$ACS_{4p} = 140(l/dia)$$

- Cantidad de agua que se usará en el sistema de Calefacción es de:

$$Agua_{SR} = 66,33(l/dia)$$

El total de agua a consumir es de:

$$Agua_{Total} = ACS_{4p} + Agua_{SR}$$

$$Agua_{Total} = 206,33(l)$$

Con la cantidad de agua total que se usará para la vivienda en el sistema térmico, se procede a buscar un calentador solar que pueda abastecer dicha cantidad de agua.

3.2.2. Selección del Calentador Solar Térmico.

El calentador solar comercial a usar para este sistema es de 250 litros de capacidad para el termotanque.



Figura 3.5: Calentador Solar Rio Solar.

Tabla 3.16: Características del Calentador Solar Rio Solar.

Proveedor:	<i>Rio Solar.</i>
Modelo:	Techo / Terraza.
Tipo:	Gravedad / Pre-Calentados.
Cantidad de tubos:	25 Tubos al vacío (ϕ 4,7x150cm).
Número de personas máx.:	4 personas.
Presión máxima:	145 Psi = 995,74 kPa
Capacidad del Tanque	250 litros
Aislamiento del Tanque:	Espuma de Poliuretano inyectado 55mm.
Tanque Interno:	Acero Inoxidable SUS304-2B, espesor 0,35mm.
Tanque Externo:	Acero Inoxidable 304.
Preservación de calor:	72 Horas.
Soporte:	Acero Inoxidable de 1.5mm de espesor. Ángulo de inclinación: 45° en el modelo Terraza, 20° en el modelo Techo.
Soporte inferior de tubos:	ABS.
Área de apertura:	5 m ²

A partir de las características técnicas del calentador solar y los datos climatológicos expuestos en las tablas 2.5, 2.7 y 2.9 sobre la irradiación mensual máxima, el promedio de horas luz diurnas y el de temperatura respectivamente, se realizó el cálculo de la eficiencia y el número de calentadores solares a usar en el sistema térmico.

Consumo de agua caliente diario:

$$Agua_{Total} = 206,33(l)$$

Temperatura de almacenamiento:

$$T_s = 50^{\circ}C$$

Temperatura de agua de entrada:

$$T_i = 9^{\circ}C$$

A partir del análisis realizado por cada mes se obtiene que la eficiencia del calentador solar analizado es de:

$$\eta_{(CS)} = 57\%$$

El número de calentadores solares a usar es de:

$$N_{(CS)} = 0,8 \approx 1$$

Este valor es obtenido a través del promedio de uso de los 12 meses.

En la tabla 3.17 se indica las características que poseerá el sistema solar térmico:

Tabla 3.17: Características del sistema solar térmico.

Modelo Calentador Solar	Calentador solar Techo/Terraza (Rio Solar).
Cantidad de tubos:	25 Tubos al vacío (ϕ 4,7x150cm).
<i>Sistema de Calefacción (HVAC)</i>	
Temperatura Interior	19 °C
Temperatura Exterior	14 °C
Temperatura Impulsión	36,38 °C
Temperatura Retorno	26,38 °C
Caudal total de agua	0,5276 m ³ /h
Tubería(Colector distribución-Calentador solar)	UPONOR Aqua Pipe (Pex-a) 32x2,9mm
Tubería Suelo Radiante	UPONOR Une Pipe PLUS 16x2,0mm
Modelo de Bomba	Bomba Wilo Yonos
Caudal	0,1 - 2,5 (m ³ /h)
Altura	2,4 - 6 (m)
Tensión de Alimentación	1-230V \pm 10%, 50/60Hz
<i>Sistema de Agua Caliente Sanitaria (ACS)</i>	
Tubería	UPONOR Une Pipe PLUS 20x2,25mm

3.2.3. Diagrama Unifilar del sistema solar Térmico para Agua Caliente Sanitaria (ACS) y Calefacción:

3.3. Análisis del sistema solar fotovoltaico sustentable para la vivienda.

3.3.1. Cálculo del sistema Fotovoltaico Aislado.

Los datos requeridos para el dimensionamiento de este sistema son los establecidos en las tablas 2.5 a 2.9 pertenecientes a la irradiación mensual máxima, promedio de horas luz diurna, promedio de días sin sol y de temperatura, respectivamente; además de datos generales sobre la ubicación de la vivienda unifamiliar descritos en el apartado 2.3.

La revisión de la literatura, recomienda que de la tabla 2.8 perteneciente a los promedios de días sin sol, se tome el valor que pertenezca al peor día continuo sin sol, esto comúnmente ocurre en los meses de enero o diciembre. Además, que en los datos climatológicos obtenidos, indican que el día de autonomía o día sin sol pertenece al mes de diciembre con 3 días.

3.3.1.1. Carga eléctrica Corriente Alterna (CA):

La energía diaria consumida por una vivienda unifamiliar es de alrededor de 3,7 kWh/hab (consumo per cápita de energía eléctrica de los consumidores regulados, en una vivienda de tipo unifamiliar del sector urbano perteneciente a la provincia del Azuay según ARCERNNR). Parte de esto se considera la energía requerida utilizada para el funcionamiento de la bomba del sistema térmico, donde el funcionamiento de dicho equipo es ininterrumpido aunque con marcha reducida por la noche, con un consumo aproximado de 120 Wh/día. Entonces:

El voltaje nominal para las cargas existentes en la vivienda es de:

$$V_{nom} = 120V$$

La energía diaria requerida para la vivienda es de **3,8kWh/día**

A partir de esto se realiza los cálculos pertinentes, las características del módulo fotovoltaico seleccionado son:

Tabla 3.18: Características del Módulo Fotovoltaico.

Modelo:	SIMAX SP672-300.
Potencia Nominal:	300 W
Voltaje nominal:	35 V
Corriente pico:	8,26 A
Voltaje pico:	36,3V
Voltaje Circuito Abierto (Voc):	45 V
Corriente Corto Circuito (Isc):	8,93 A
NOCT:	45°C
DNI:	1000W/m ²
Tstc:	25°C
DTp:	-0,00142336 %/K

El análisis para la obtención de cantidad de módulos da un resultado de:

- Módulos en Serie:

$$Mdulos_{Serie} = 1$$

- Módulos en Paralelo:

$$Mdulos_{Paralelo} = 3$$

Entonces:

$$Modulos_{Total} = 3$$

3.3.1.2. Dimensionamiento de Baterías:

Para el dimensionamiento de las baterías a usar en el sistema solar fotovoltaico tipo isla es importante tener en cuenta los siguientes datos:

$$A_h = 111,4$$

$$DiasAutonomia = 3$$

El tipo de batería contiene las siguientes características:



Figura 3.6: Batería Aokly 12V-200Ah.

Tabla 3.19: Características de la Batería.

Modelo:	Aokly 12V-200Ah.
Capacidad 20h:	200 Ah
Voltaje nominal:	12 V
Descarga límite:	0,8

Con los datos antes mencionados, se procede a calcular el número de baterías que se van a usar en el sistema solar fotovoltaico tipo isla.

Número de baterías en paralelo:

$$Bateras_{Paralelo} = 3$$

Número de baterías en serie:

$$Bateras_{Serie} = 2$$

Numero de baterías en total:

$$Bateras_{Total} = 6$$

3.3.1.3. Dimensionamiento del Controlador:

Se debe tener presente los siguientes datos obtenidos en cálculos anteriores, a partir de esto se calcula la corriente de corto circuito para el arreglo del sistema:

$$I_{cc} = 8,93A$$

$$Modulos_{Paralelo} = 3$$

$$Cap_{Total} = 900W$$

$$V_{sis} = 24V$$

$$I_{ccarreglo} = 33,5A$$

Partiendo del análisis realizado, se busca un controlador que cumpla con todas las características.



Figura 3.7: Controlador HQST MPPT.

Tabla 3.20: Características del Controlador.

Modelo:	Controlador HQST MPPT.
Corriente del Controlador:	40A
Voltaje nominal:	24 V

A partir de esto la potencia nominal del sistema haciendo uso del controlador antes mencionado es de:

$$P_{nom} = 960W$$

Al cumplirse todas las propuestas, significa que el **Controlador HQST MPPT** escogido es apropiado para el correcto funcionamiento del sistema.

3.3.1.4. Dimensionamiento del Inversor:

Se debe considerar las siguientes características del sistema;

$$Cap_{TotalCarga} = 3897W$$

$$V_{sis} = 24V$$

$$V_{nom} = 120V$$

Con estos datos se calcula la capacidad de reacción que tendrá el sistema:

$$C_{reaccion} = 11691W$$

El inversor propuesto tiene las siguientes características:



Figura 3.8: Inversor One SOLAR.

Tabla 3.21: Características del Inversor.

Modelo:	One SOLAR.
Capacidad del Inversor:	4000W
Voltaje de baterías:	24 V
Voltaje de salida:	120V

Al cumplirse todas las propuestas en la hoja de cálculo-Excel, significa que el **Inversor One SOLAR** escogido es el correcto.

En la tabla 3.22 se muestra las características principales del sistema solar fotovoltaico tipo Isla.

Tabla 3.22: Características generales del sistema.

Energía diaria requerida	3820 Wh/día
<i>Modelo de Panel Fotovoltaico</i>	SIMAX SP672-300
Potencia Nominal	300 W
Voltaje Max (Vmp)	35 V
Corriente Max (Imp)	8,26 A
Dimensiones	1,956 x 0,992 m
Paneles en Serie	1
Paneles en Paralelo	3
Potencia del sistema	900 W
Energía generada diaria	3992 Wh/día
<i>Modelo de Batería</i>	QP FOR SOLAR
Voltaje Nominal	12 V
Descarga Límite	80 %
Capacidad 20h	200 Ah
Baterías en Paralelo	3
Baterías en Serie	2
Capacidad Total	600 Ah
<i>Modelo de Controlador</i>	HQST MPPT
Corriente Controlador	40A
Voltaje nominal controlador	24V
Potencia nominal sistema	960 W
<i>Modelo de Inversor</i>	Inversor One SOLAR
Potencia Inversor	4000 W
Voltaje de baterías	24 V
Voltaje de salida	120 V

3.3.1.5. Diseño del sistema solar Fotovoltaico - tipo Isla:

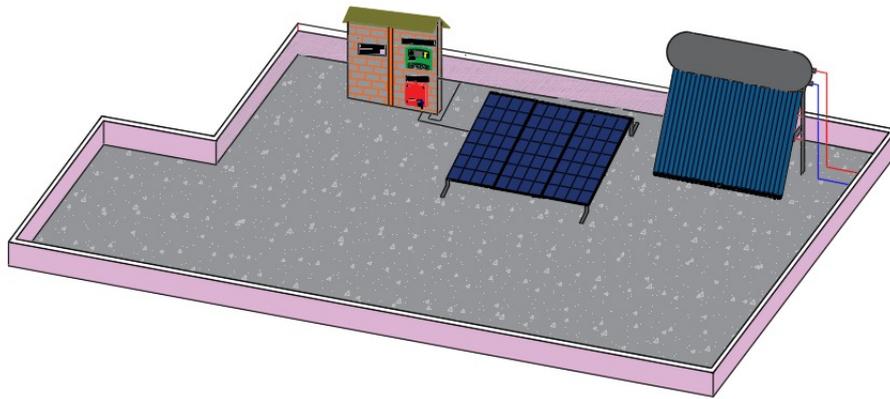


Figura 3.9: Diseño SFV tipo Isla.

3.3.1.6. Diagrama Unifilar del sistema solar Fotovoltaico - tipo Isla:

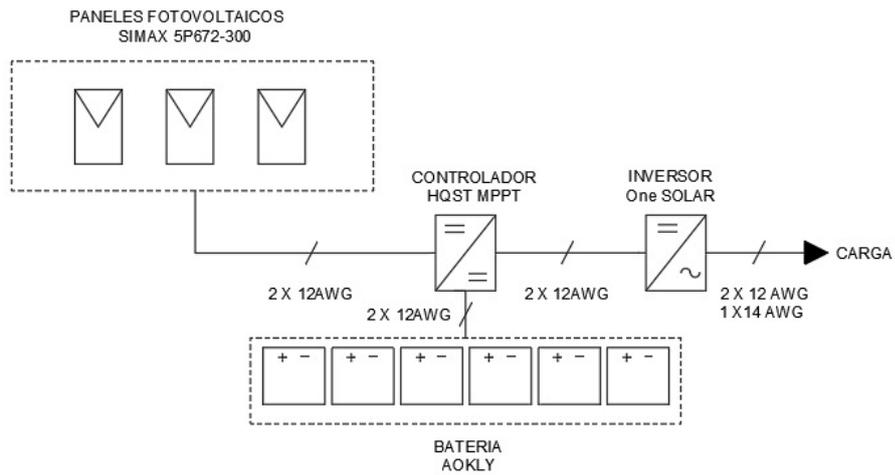


Figura 3.10: Diagrama Unifilar SFV tipo Isla.

3.3.2. Cálculo del sistema Fotovoltaico conectado a Red.

Para el cálculo del sistema fotovoltaico tipo red se considera las tablas 2.5 a 2.9 pertenecientes a la irradiación mensual máxima, promedio de horas luz diurna, promedio de días sin sol y de temperatura, respectivamente.

Para cubrir la demanda de 3,8 kWh/día de energía consumida por los habitantes y también por la bomba a usar en el sistema térmico, se ha instalado una potencia promedio de 4 kW con esto se inicia el desarrollo, imponiéndose el tipo de módulo fotovoltaico y según estas características se escoge el inversor; a través de la validación del inversor se sabe si los equipos considerados son o no los correctos para el sistema.

El módulo fotovoltaico seleccionado es:

Tabla 3.23: Características del Módulo Fotovoltaico.

Modelo:	ERA-340.
Potencia Nominal:	340 W
Voltaje Max (Vmp):	38,5 V
Corriente Max (Imp):	8,54 A
Potencia Máxima:	340,3 W
Voltaje Circuito Abierto (Voc):	46,4 V
Corriente Corto Circuito (Isc):	9,45 A
Máximo Voltaje:	1000 V
Largo:	1,956 m
Ancho:	0,992 m
Profundidad:	0,040 m
Área:	1,940 m ²
Peso:	20,9 kg
EffCel:	17,52 %
Temperatura de Operación:	-40 a 85 °C
Fusible:	10 A
Tolerancia:	+/-3 %
Δ TP:	0,00 %/K
Δ TV:	0,00 %/K
Δ TI:	0,00 %/K
NOCT:	45 °C
DNI-STC:	1000 W/m ²
T _{amb} -STC:	25 °C
AM:	1,50

Para obtener el arreglo de los módulos fotovoltaicos, se pide ingresar la cantidad de paneles que van en serie y paralelo, esto depende de las dimensiones que tiene el local donde se va a ubicar los módulos. Entonces:

- Paneles en Serie:

$$Paneles_{serie} = 6$$

- Paneles en Paralelo:

$$Paneles_{paralelo} = 2$$

- Paneles por arreglo:

$$Paneles_{arreglo} = 12$$

El inversor escogido es:

Tabla 3.24: Características del Inversor.

Modelo:	SMA-SunnyBoy-4000US/600Vdc-208Vac
Potencia Max. DC:	4250 W
Voltaje Máx. DC:	600V
Rango Voltaje PV, MPPT Min.:	218V
Rango Voltaje PV, MPPT Max.:	480V
Corriente Max. Entrada:	18A
Potencia Nominal AC:	3500W
Potencia Max. AC:	3540W
Voltaje Nominal AC:	208V
Rango Voltaje AC Min.:	183V
Rango Voltaje AC Max.:	229V
Eficiencia Máx.:	96,5 %

Ya teniendo las características se procede a realizar la validación respectiva del Inversor. Las propuestas deben ser cumplidas por las características dadas, al ser correctas se procede a decir que el **Inversor SMA-SunnyBoy-4000US/600Vdc-208Vac** es el correcto para un buen funcionamiento del sistema junto al módulo **ERA-340**.

En la siguiente tabla se detalla las características principales que poseerá el sistema fotovoltaico tipo Red:

Tabla 3.25: Características generales del sistema.

Modelo de Panel Fotovoltaico	ERA-340
Potencia Nominal	340 W
Voltaje Max (V_{mp})	38,5 V
Corriente Max (I_{mp})	8,84 A
Dimensiones	1,956 x 0,992 m
Paneles en Serie	6
Paneles en Paralelo	2
Potencia del sistema	4080 W
V_{max} del sistema	231 V
I_{max} del sistema	17,68 A
Modelo de Inversor	SMA-SunnyBoy-4000US/600Vdc-208Vac
Potencia Max (DC)	4250 W

3.3.2.1. Diseño del sistema solar Fotovoltaico - tipo Red:

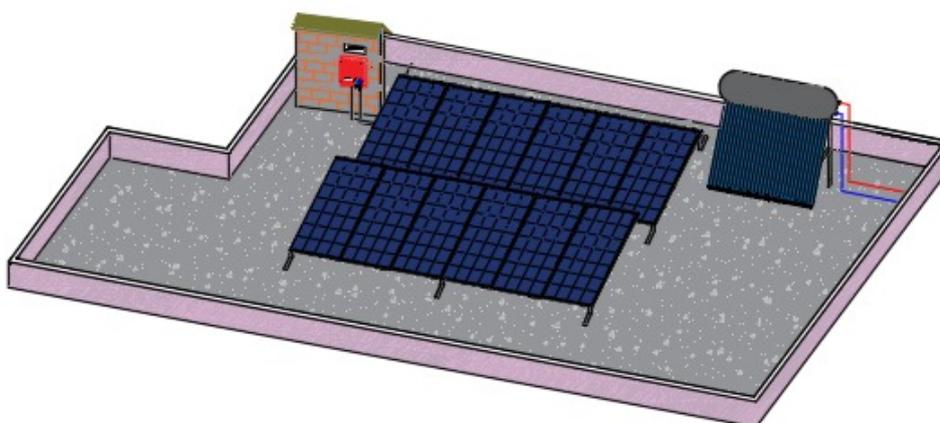


Figura 3.11: Diseño SFV tipo Red.

3.3.2.2. Diagrama Unifilar del sistema solar Fotovoltaico - tipo Red:

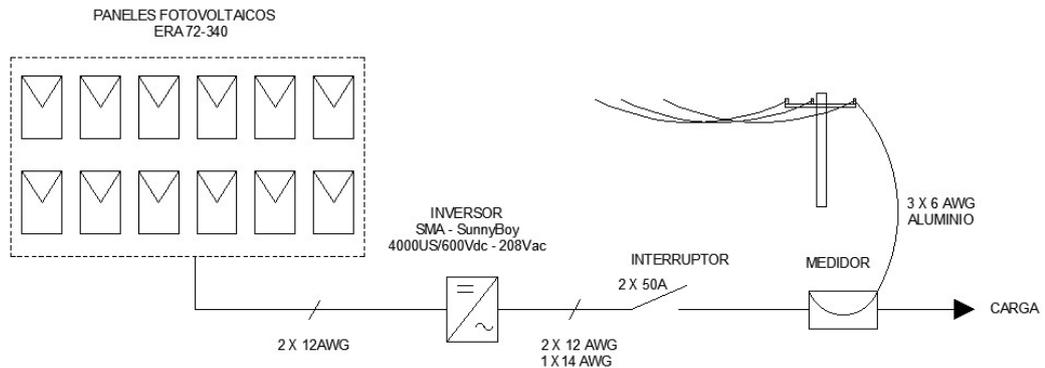


Figura 3.12: Diagrama Unifilar SFV tipo Red.

3.3.3. Mantenimiento.

A todo sistema es importante realizar un mantenimiento preventivo, esto nos asegura que este funcionando correctamente y así evitaremos a futuro un problema o daño del mismo. A continuación, se mencionan algunas ideas importantes para un correcto mantenimiento:

Mantenimiento para el Sistema Solar Térmico:

- Controlar que en el sistema no existan fugas.
- Observar si las llaves del colector poseen alguna obturación o daño.
- Verificar que el agua que esté circulando por las tuberías este limpia.
- Comprobar que la temperatura emitida por la instalación sea la precisa.
- Vigilar que el caudal hacia los circuitos sea el apropiado.
- Fijarse si las válvulas, bombas y sondas estén funcionando correctamente.
- Observar si los purgadores están en buen estado.

Mantenimiento para el Sistema Solar Fotovoltaico:

- Realizar limpieza de los paneles solares, esto evitará que el polvo dañe los aparatos.

- Es importante fijarse en que las estructuras de soporte de los paneles no se oxide, para esto se usa pintura anticorrosiva.
- Es importantes realizar una limpieza sobre las baterías y bornes, para evitar que funcionen erróneamente.
- Verificar que cerca de los paneles solares no existan arboles u otros objetos que eviten el paso de rayos de sol directos a los mismos.

Capítulo 4

ESTUDIO ECONÓMICO Y CONCLUSIONES

4.1. Análisis de estudio económico del sistema solar térmico y fotovoltaico:

Para iniciar el análisis del estudio económico es importante tener en cuenta los costos que se generaron al implementar dichos sistemas, a continuación, se describen cada uno:

- **Sistema Solar Térmico:**

Dentro del sistema térmico se encuentra el calentamiento de agua sanitaria (ACS) y el sistema de calefacción por suelo radiante de toda la vivienda, esto explica que los materiales indicados en la tabla 4.1 serán usados para el correcto funcionamiento de ambos sistemas:

Tabla 4.1: Lista de materiales y costo para sistema solar térmico.

MATERIAL:	CANT:	COSTO UNIT:	COSTO TOTAL:
Calentador Solar (250L)	1	\$910,00	\$910,00
Sonda Impulsión Retorno	1	\$349,63	\$349,63
Sonda Exterior	1		
Termostato digital T-166	4	\$115,17	\$460,68
Colector de distribución con caudalímetro(2 circ)	1	\$287,26	\$287,26
Colector de distribución con caudalímetro(3 circ)	1	\$323,26	\$323,26
Caja de colectores (Armario Uponor Vario)	2	\$130,93	\$261,86
Lámina de PE Film(CajaX200)	1	\$1,62	\$1,62
Zócalo Perimetral(200m)	1	\$2,97	\$2,97
Panel de Tetones	4	\$31,27	\$125,08
Cableado AWG 12	100	\$0,56	\$56,00
Tubería en rollo: Uni Pipe Plus 16x2mm(L200m)	2 rollos	\$3,00	\$6,00
Tubería en rollo:Aqua Pipe (Pex-a) 32x2,9mm(L50m)	1 rollo	\$8,87	\$8,87
Grupo de Impulsión(Bomba/Válvulas)	1	\$1423,47	\$1423,47
TOTAL:			\$4216,70

El costo de la inversión del sistema térmico es de CUATRO MIL DOSCIENTOS DIEZ Y SEIS CON SETENTA CENTAVOS.

- **Sistema Fotovoltaico tipo Aislado:**

A continuación, en la tabla 4.2 se describe la lista de materiales y los costos pertenecientes al sistema fotovoltaico tipo aislado:

Tabla 4.2: Lista de materiales y costo para SFV Aislado.

MATERIAL:	CANT:	COSTO UNIT:	COSTO TOTAL:	\$USD/W
Modulo: SIMAX SP672-300	1	\$1,30	\$117	\$1,30
Batería: Aokly	6	\$2,95	\$3540,00	\$3,93
Controlador: HQST MPPT	1	\$100,00	\$100,00	\$0,11
Inversor: One Solar	1	\$1150,00	\$1150,00	\$1,28
Sistema de soporte (racks)	2	\$52,00	\$104,00	
Cableado AWG 12	20	\$0,60	\$12,00	
Conectores	10	\$3,50	\$35,00	
Sistema a Tierra (Varilla)	1	\$6,00	\$6,00	
Caja e interruptor (CD)	1	\$40,00	\$40,00	
Caja e interruptor (CA)	1	\$45,00	\$45,00	
Mano de obre	2	\$500,00	\$1000,00	
TOTAL:			\$7202,00	\$8,00

El total requerido para la implementación de tal sistema es de SIETE MIL DOS CIENTOS DOS DÓLARES. El precio por vatio para dicho sistema es de OCHO DÓLARES por cada vatio usado.

■ **Sistema Solar Fotovoltaico conectado a Red:**

Los materiales usados para dicho sistema están descritos en la tabla 4.3, así mismo se describe el costo de cada uno:

Tabla 4.3: Lista de materiales y costo para SFV tipo Red.

MATERIAL:	CANT:	COSTO UNIT:	COSTO TOTAL:	\$USD/W
Modulo: ERA-340	12	\$1,30	\$4680,00	\$1,30
Inversor: SMA-SunnyBoy-4000US/600Vdc	1	\$1559,57	\$1559,57	\$0,43
Sistema de Soporte (racks)	2	\$52,00	\$104,00	
Medidor de Energía	1	\$25,00	\$25,00	
Cableado Total	20	\$0,60	\$12,00	
Conectores	10	\$3,50	\$35,00	
Sistema a Tierra (Varilla)	1	\$6,00	\$6,00	
Caja e interruptor (CD)	1	\$40,00	\$40,00	
Caja e interruptor (CA)	1	\$45,00	\$45,00	
Mano de obre	2	\$500,00	\$1000,00	
TOTAL:			\$7506,57	\$1,73

El costo estimado para la implementación del sistema fotovoltaico conectado a red es de SIETE MIL QUINIENTOS SEIS CON CINCUENTA Y SIETE CENTAVOS. Es importante conocer el costo por vatio que se obtendrá a partir de este sistema, será de UNO CON SETENTA Y TRES CENTAVOS.

4.2. Cálculo para el consumo y costo de los diferentes tipos de sistemas que alimentarán al sistema de calefacción y ACS.

Para realizar el análisis del consumo de cada sistema para alimentación del sistema de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) se debe tener en cuenta la inversión inicial, el costo mensual además de la tasa de interés vegetativo de cada uno. Estos datos son necesarios para los siguientes análisis:

- Consumo y costo de calefacción eléctrica.
- Consumo y costo de agua caliente sanitaria (ACS) con GLP.
- Consumo y costo de calefacción con calentador solar.
- Consumo y costo de agua caliente sanitaria (ACS) con calentador solar.

Se parte de los siguientes datos que serán necesarios para el respectivo cálculo:

Tabla 4.4: Datos.

k	0,70	Factor de simultaneidad
rv	1,70 %	Tasa de interés vegetativo
t	8,28 %	Tasa de interés para proyectos eléctricos. Según ARCONEL (Enero 2022).

Para realizar el análisis de VAN y razón beneficio costo se consideraron los siguientes criterios para la toma de decisiones sobre la propuesta estudiada.

- **Valor Presente Neto (VAN):**
 - Si $VAN > 0$ Conviene ejecutar el proyecto.
 - Si $VAN < 0$ No conviene ejecutar el proyecto.
- **Índice de Rentabilidad o Razón Beneficio - Costo:**
 - Si $RBC \geq 1$ El proyecto es económicamente aceptable para los estimados y la tasa de descuento aplicada.
 - Si $RBC < 1$ El proyecto no es económicamente aceptable.

4.2.1. Consumo y costo de Calefacción Eléctrico:

Para el sistema de calefacción fue necesario obtener la potencia eléctrica que se requiere para el funcionamiento de este sistema, así como las áreas de cada espacio de la vivienda a calentar. Considerando que si las paredes de la vivienda tienen una altura de 2,50mts, se asigne la cantidad de potencia requerida por metro cuadrado con base al siguiente criterio.

- 80W/m² Para habitaciones aisladas.
- 100W/m² Para habitaciones de nivel de aislamiento medio.

Para este estudio se consideró un nivel medio de aislamiento para la vivienda, obteniendo una relación de 100W/m² por espacio a calentar.

En la tabla 4.5 se presenta los cálculos para la obtención de la potencia de los calefactores eléctricos necesarios para cada espacio de la vivienda, además se considera que las horas de funcionamiento de dicho equipo será variable de 2 a 5 horas por día.

Tabla 4.5: Cálculo de potencia para calefactor eléctrico.

Espacios:	A(m ²)	Potencia requerida (W)	Potencia de equipo (W)	Horas de uso/día	Potencia Total (kWh)
Cocina-Comedor	22,20	2220	2220	4	8,8
Sala	7,85	785,25	800	5	4
Recamara Principal	9,35	934,75	1000	5	5
Recamara 1	9,69	969	1000	2	2
Recamara 1	9,69	969	1000	3	3
TOTAL:					22,8
Aplicando factor de simultaneidad de 0,7.					
Potencia por día:					15,96
Potencia por mes					335,16
Potencia por año					4021,92

Teniendo en cuenta el consumo mensual de energía eléctrica por parte de los calefactores eléctricos que se usarán en la vivienda y el costo unitario de la electricidad establecido en el Pliego Tarifario del Servicio Público de Energía Eléctrica del Ecuador de \$0,1030 por kWh, se obtiene el costo total de la energía. El costo anual de consumo es de:

\$414,26

El costo de inversión de los equipos para la calefacción a base de calefactores eléctricos es de:

Tabla 4.6: Costo de calefactor eléctrico.

Descripción:	Cantidad:	Costo/Unit:	Costo:
Calefactor (2200W)	1	\$130,00	\$130,00
Calefactor (1000W)	3	\$75,00	\$225,00
Calefactor (800W)	1	\$39,00	\$39,00
TOTAL:			\$394,00

4.2.1.1. Comparación de los sistemas de calefacción eléctrica convencional y calefacción por suelo radiante.

En la tabla 4.7 se indica el análisis económico haciendo referencia el tiempo de vida útil de los equipos, además del costo de inversión del sistema de calefacción eléctrico de \$394,00 y el sistema térmico de \$4216,70 y los costos anuales producidos por el uso del sistema eléctrico para calefacción.

Tabla 4.7: Análisis económico: sistema eléctrico vs. térmico.

Año	Ahorros	Flujo de Caja
0	\$394,00	-\$3822,70
1	\$414,26	\$414,26
2	\$421,30	\$421,30
3	\$428,46	\$428,46
4	\$435,75	\$435,75
5	\$443,15	\$443,15
6	\$450,69	\$450,69
7	\$458,35	\$458,35
8	\$466,14	\$466,14
9	\$474,07	\$474,07
10	\$482,12	\$482,12
11	\$490,32	\$490,32
12	\$498,66	\$498,66
13	\$507,13	\$507,13
14	\$515,75	\$515,75
15	\$524,52	\$524,52
16	\$533,44	\$533,44
17	\$542,51	\$542,51
18	\$551,73	\$551,73
19	\$561,11	\$561,11
20	\$570,65	\$570,6

Se presenta el análisis del valor presente neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el índice de rentabilidad o razón Beneficio - Costo:

Tabla 4.8: Análisis económico.

Tasa de Interés	8,28 %
n	20 Años
VAN	\$282,21
TIR	10 %
Razón Beneficio - Costo	\$1,07

Partiendo del análisis del valor presente neto (VAN) se tiene que el proyecto si es conveniente ejecutar, además de que el análisis razón beneficio costo indica que el proyecto es económicamente aceptable.

4.2.2. Consumo y costo de agua caliente sanitaria (ACS) por GLP:

Para realizar el análisis del consumo de GLP anual para de agua caliente sanitaria (ACS), se debe tener en cuenta los siguientes datos:

Tabla 4.9: Datos para obtener consumo de GLP.

M	140	l/día	Consumo de agua diaria.
ρ	1,2	kg/l	Densidad del agua.
C_p	4,18	kJ/kgK	Calor específico del agua.
T_c	50	°C	Temperatura deseada.
T_d	9	°C	Temperatura del agua de la red.
H_c	49651,53	kJ/kg	Poder calorífico de GLP.
e	0,9		Eficiencia del calentador de GLP.
V_t	15	kg	Volumen del tanque de GLP.
Pt	\$2,50		Precio del tanque GLP.
rv	1,7 %		Interés vegetativo.

Se procede a calcular los siguientes términos para poder obtener la cantidad de combustible a usar en el sistema:

- **Demanda de energía (Di):**

$$Di = M * \rho * C_p * (T_c - T_d) \quad (4.1)$$

$$Di = 28791,84KJ$$

- **Masa de GLP (mc):**

$$mc = \frac{Di}{H_c} \quad (4.2)$$

$$mc = 0,579kg$$

- **Cantidad anual de GLP (Ca):**

$$Ca = \frac{mc * 365}{e} \quad (4.3)$$

$$Ca = 235,17kg$$

- **Promedio de tanque a usar anual (Nt):**

$$Nt = \frac{Ca}{V_t} \quad (4.4)$$

$$Nt = 15,68 \approx 16$$

- Costo de GLP anual:

Costo GLP=\$40,00

A partir de esto se busca un calentador GLP que sea útil para el correcto funcionamiento del sistema de agua caliente sanitaria (ACS). Las características del calentador GLP son:

Tabla 4.10: Datos del calentador GLP.

Marca	Instamatic.
Capacidad	26 litros.
Costo	\$400

4.2.2.1. Análisis económico del sistema de agua caliente sanitaria (ACS) por GLP vs. Térmico:

Contando con el promedio anual de GLP a usar en la vivienda para el sistema de ACS y el promedio de cada tanque se procede a realizar el análisis económico. En la tabla 4.11 se toma en consideración el ahorro anual por dejar de consumir GLP para el sistema de agua caliente sanitaria, tomando en cuenta que la inversión para el sistema por GLP es de \$400,00 y el sistema térmico de \$910,00.

Tabla 4.11: Análisis económico: sistema GLP vs. Térmico.

Año	Ahorros	Flujo de Caja
0	\$400,00	-\$510,00
1	\$40,00	\$40,00
2	\$40,68	\$40,68
3	\$41,37	\$41,37
4	\$42,07	\$42,07
5	\$42,79	\$42,79
6	\$43,52	\$43,52
7	\$44,26	\$44,26
8	\$45,01	\$45,01
9	\$45,77	\$45,77
10	\$46,55	\$46,55
11	\$47,34	\$47,34
12	\$48,15	\$48,15
13	\$48,97	\$48,97
14	\$49,80	\$49,80
15	\$50,65	\$50,65
16	\$51,51	\$51,51
17	\$52,38	\$52,38
18	\$53,27	\$53,27
19	\$54,18	\$54,18
20	\$55,10	\$55,10

El análisis del valor presente neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el índice de rentabilidad o razón Beneficio - Costo, se presenta a continuación:

Tabla 4.12: Análisis económico.

Tasa de Interés	8,28 %
n	20 Años
VAN	-\$475,59
TIR	6 %
Razón Beneficio - Costo	\$0,48

El análisis del valor presente neto (VAN) es menor a cero y el valor de razón beneficio costo es menor a 1, esto demuestra que no es económicamente aceptable la ejecución de tal sistema.

4.2.2.2. Análisis económico del sistema de Calefacción y ACS con GLP y Eléctrico vs. Térmico:

Se realizó el estudio económico considerando los sistemas de GLP y Eléctrico haciendo una comparación frente al sistema térmico, tomando en cuenta que aquellos sistemas son usados para el funcionamiento del sistema de calefacción por suelo radiante y sistema de agua caliente sanitaria (ACS). Como inversión inicial se tomó la suma entre el costo del sistema de GLP y Eléctrico de \$794,00, y la inversión total del sistema térmico de \$4216,70. Este estudio es analizado durante los años de vida útil de los equipo, considerando el ahorro obtenido anual por dejar de consumir GLP y electricidad, como lo indica la tabla 4.13.

Tabla 4.13: Análisis económico: sistema Eléctrico y GLP vs. Térmico.

Año	Ahorros	Flujo de Caja
0	\$794,00	-\$3422,70
1	\$454,26	\$454,26
2	\$461,98	\$461,98
3	\$469,83	\$469,83
4	\$477,82	\$477,82
5	\$485,94	\$485,94
6	\$494,20	\$494,20
7	\$502,61	\$502,61
8	\$511,15	\$511,15
9	\$519,84	\$519,84
10	\$528,68	\$528,68
11	\$537,67	\$537,67
12	\$546,81	\$546,81
13	\$556,10	\$556,10
14	\$565,55	\$565,55
15	\$575,17	\$575,17
16	\$584,95	\$584,95
17	\$594,89	\$594,89
18	\$605,00	\$605,00
19	\$615,29	\$615,29
20	\$625,75	\$625,75

El análisis del valor presente neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el índice de rentabilidad o razón Beneficio - Costo, se presenta a continuación:

Tabla 4.14: Análisis económico.

Tasa de Interés	8,28 %
n	20 Años
VAN	\$716,62
TIR	13 %
Razón Beneficio - Costo	\$1,17

El valor presente neto (VAN) y el análisis de razón beneficio costo demuestran que tal proyecto si es rentable en comparación con la combinación del sistema eléctrico y GLP.

4.3. Análisis económico para el sistema fotovoltaico tipo Red

Sabiendo que la demanda de la vivienda por año es de 1387 kW/año, dando un promedio de consumo mensual de 116 kW/mes se encuentra dentro del rango de tarifa dignidad de \$0,04 kW/h, entonces se tiene que: el costo de la energía en un año es de \$55,48 KWh/año además de la tasa de incremento vegetativo eléctrico es de 1,70 %, como se indica en la tabla 4.15.

Tabla 4.15: Análisis económico: sistema eléctrico vs. SFV Red.

Año	Ahorros	Flujo de Caja
0	\$55,48	-\$7451,09
1	\$56,42	\$56,42
2	\$57,38	\$57,38
3	\$58,36	\$58,36
4	\$59,35	\$59,35
5	\$60,36	\$60,36
6	\$61,38	\$61,38
7	\$62,43	\$62,43
8	\$63,49	\$63,49
9	\$64,57	\$64,57
10	\$65,67	\$65,67
11	\$66,78	\$66,78
12	\$67,92	\$67,92
13	\$69,07	\$69,07
14	\$70,25	\$70,25
15	\$71,44	\$71,44
16	\$72,66	\$72,66
17	\$73,89	\$73,89
18	\$75,15	\$75,15
19	\$76,42	\$76,42
20	\$77,72	\$77,72

Se procede a calcular el valor presente neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el índice de rentabilidad o razón Beneficio - Costo:

Tabla 4.16: Análisis económico.

Tasa de Interés	8,28 %
n	20 Años
VAN	-\$6396,97
TIR	-12 %
Razón Beneficio - Costo	\$0,15

Con los resultados obtenidos en el VAN se define que el sistema conectado a la red no es un proyecto recomendable para ejecutarlo, así también se refleja en el análisis de razón beneficio costo, obteniendo un coeficiente menor a 1, esto significa que el proyecto económicamente no es aceptable.

4.4. CONCLUSIONES:

A partir del análisis realizado se conoce que la carga térmica de calefacción que poseerá la vivienda es de 5070,49 (W), a esto se añade la temperatura promedio media de la superficie del suelo de 27,34°C, donde demuestra que si cumple la normativa UNE EN 1264 donde indica que la temperatura de la superficie el suelo no debe ser mayor a los 29°C.

Para el dimensionamiento del suelo radiante, se cumple lo indicado en la Norma UNE EN 1264, donde explica que la longitud de cada circuito no debe exceder los 120 metros, esto evitará que en un futuro se presenten pérdidas del sistema; para aquello se recomienda que la distancia de paso o entre tubos este de acuerdo con el tipo de circuito escogido para tal sistema. Es necesario recomendar que el sistema de suelo radiante no lleve codos o uniones, esto ayudará que el sistema funcione de manera correcta.

Para el análisis de las pérdidas de carga es importante trazar dichas pérdidas sobre el diagrama perteneciente al fabricante de los equipos, así se evitará tener problemas al momento de equipar el sistema. Es importante indicar que las tuberías a usar para el circuito de suelo radiante y las tuberías colocadas a la salida del colector de distribución hacia el calentador solar son diferentes, esto depende del caudal calculado para cada uno de ellos.

Se recomienda para este estudio colocar dos colectores de distribución ya que la distancia entre aquel equipo y el suelo de la planta a calentar, debe haber una altura de máximo 1m; esto ayudará que el agua circule por los circuitos de manera efectiva.

Tomando en consideración los valores del VAN y el TIR obtenidos a partir de la comparación de los sistemas combinados de calefacción eléctrica y ACS-GLP, con el sistema de calefacción y ACS Térmica se tiene una rentabilidad de 1.17 con un TIR de 13 %, esto significa que el proyecto de sistema térmico si es ejecutable para dicho análisis.

Así mismo, con el análisis económico realizado al sistema fotovoltaico tipo red se reconoce que no es ejecutable económicamente durante los 20 años propuestos, esto es reflejado por los altos costos de implementación de tal sistema. Con respecto al sistema fotovoltaico tipo isla se debe considerar que en sitios donde se instala estos sistemas, el acceso de energía eléctrica convencional es remoto, por lo que un análisis económico está de más en este caso.

Bibliografía

- [1] A. Kumar Gb, S. Sushma, L. Priyanka, S. G. Vijay, and G. A. Thoughir Pasha, “Design and implementation of peltier based solar powered air conditioning and water heating system,” *2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information and Communication Technology, RTEICT 2018 - Proceedings*, no. 83, pp. 2604–2607, 2018.
- [2] S. Bonilla, J. Acosta, and J. Moreno, “Sistema de calefacción por suelo radiante en procesos agrícolas en invernaderos.” *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, vol. 5, no. 1, pp. 413–431, 2020.
- [3] J. Solano, L. Olivieri, and E. Caamano, “HVAC systems using PV technology: Economic feasibility analysis in commercial buildings of Ecuador,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 2, pp. 767–772, 2016.
- [4] A. Koulibaly and J. J. González Bayon, “Modelación de un colector solar para calentamiento de aire,” *Ingeniería Energética*, vol. 36, no. 3, pp. 282–293, 2015.
- [5] V. Echarri, A. L. Galiano Garrigós, and Á. B. González Avilés, “Cerámica y climatización saludable: paneles cerámicos radiantes en edificios. Condiciones de confort y demanda energética frente a sistemas convectivos.” *Informes de la Construcción*, vol. 68, no. 544, pp. 19–32, 2016. [Online]. Available: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/5803/6694>
- [6] F. R. Rubio, S. J. Navas, P. Ollero, J. M. Lemos, and M. G. Ortega, “Control Óptimo Aplicado a Campos de Colectores Solares Distribuidos,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 15, no. 3, pp. 327–338, 2018.

- [7] H. Vardhan, N. M. Sarkar, and H. Neema, "Modeling and Optimization of a Longitudinally-Distributed Global Solar Grid," *IEEE Xplore*, pp. 1–6, 2019.
- [8] A. Araujo, "Alza de tarifas eléctricas busca bajar el subsidio," pp. 1–3, 2021. [Online]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/alza-de-tarifas-electricas-busca.html>.
- [9] M. Amundarain Ormaza, "La energía renovable procedente de las olas," *Ikastorratza, e-Revista de didáctica*, no. 8, pp. 1–14, 2018.
- [10] J. Roldán Viloría, "Energías renovables. Lo que hay que saber," *Paraninfo*, pp. 11–12, 2013.
- [11] O. Planas. ¿qué es la energía solar? obtención, usos, tipos y ejemplos. [Online]. Available: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar>
- [12] D. A. Alvarez Lozano, "Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de una superficie plana para maximizar la captación de irradiación solar en Cuenca-Ecuador," Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca., 2017.
- [13] P. A. Peña Ortiz and F. S. Pinos Vergara, "Parametrización de los sistemas eléctricos fotovoltaicos basados en las condiciones climáticas de la ciudad de Cuenca, aplicados en la Universidad Politécnica Salesiana," Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca., 2014. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7123>
- [14] A. P. Carvajal Paucar and R. D. Mejía Almeida, "Diseño y análisis de implementación de un sistema de calentamiento de agua por tubos de vacío con energía solar térmica para la piscina de 360 m² del club Castillo de Amaguaña," Ph.D. dissertation, Universidad Politecnica Salesiana, 2021. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- [15] V. Cárdenas, R. Álvarez, and M. González, "Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica," *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9, pp. 24–29, 2019.
- [16] L. O. Perpiñan, "Energía Solar Fotovoltaica," no. Mayo, 2013.
- [17] C. A. GUZMAN NIÑO, "Análisis del impacto ambiental de diferentes tipos de paneles solares según los materiales utilizados y los componentes tóxicos," Ph.D. dissertation, Universidad América, 2017.

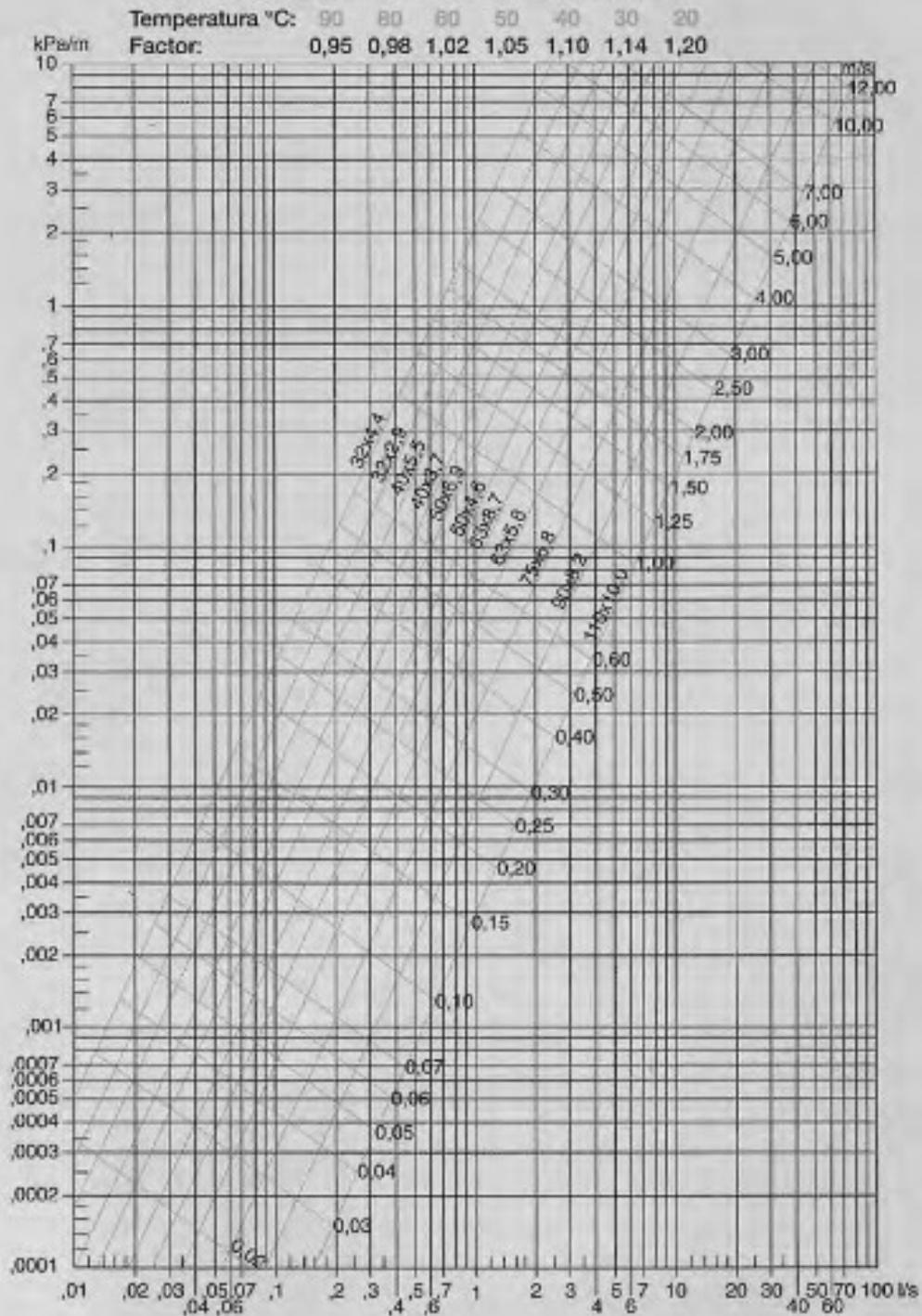
- [18] V. L. Vera, B. J. Martelote, M. Cáceres, and A. D. Firman, “Determinación de la capacidad de baterías solares VRLA utilizados en el Permer-Argentina,” *VII Congreso Brasileiro de Energia Solar – Gramado*, p. 10, 2018.
- [19] J. Hernández Poveda, “Diseño de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo conectado a red: Análisis mediante simulación por ordenador de la viabilidad de la instalación y cálculos tensionales de la estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos.” Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica de Valencia, 2021.
- [20] C. E. Rosales Perez, “Implementación de un sistema de carga para celulares mediante energía solar fotovoltaica.” Ph.D. dissertation, Instituto Tecnológico Superior Vida Nueva, 2019.
- [21] C. Montoya Rasero, “Energía Solar Fotovoltaica,” *Environmental Pollution*, vol. 16, no. 3, pp. 262–270, 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2017.02.016>
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-027571-0.50013-6>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.012>
<http://www.eoi.es>
- [22] D. Bravo Hidalgo, “Climatización Solar De Edificaciones,” *Centro Azúcar*, vol. 42, pp. 72–82, 2015.
- [23] P. Rodriguez Toledano, “Análisis paramétrico de captadores solares planos.” Ph.D. dissertation, Universidad de Sevilla, 2020.
- [24] M. Frutos, J.-C. Pulfer, D. Belli, J. Carbullanca, and D. Sartorio, “Determinación experimental del rendimiento de un captador solar de tubos de vacío con almacenamiento integrado y su aplicación en un sistema de refrigeración por absorción,” 10 2016, pp. 1–8.
- [25] M. F. Narváez Sinchi and C. F. Urigüen Peralta, “Diseño e implementación de un sistema híbrido de agua sanitaria caliente (ACS), para reducción de energía eléctrica y uso de gas licuado de petróleo (GLP).” Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, 2016.
- [26] C. S. MARTINEZ CARRERA, “Efecto de los colectores solares con tubos de vacío en el ahorro de energía eléctrica en zonas alto andinas,” Ph.D. dissertation, 2014.
- [27] L. Carribero Pérez, “Diseño de una instalación solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción por suelo radiante en una vivienda.” Ph.D. dissertation, Universidad de Cádiz, 2010.

- [28] Ventajas y desventajas de la energía solar. [Online]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/energia-solar-ventajas-desventajas/>
- [29] Energía solar fotovoltaica y térmica: ventajas y desventajas. [Online]. Available: <https://climate.selectra.com/es/que-es/energia-solar>
- [30] O. Urra Imaz, “Modelo y análisis energético de un sistema completo de calefacción por suelo radiante fabricado mediante impresión funcional.” Ingeniería en Tecnologías Industriales, Universidad Pública de Navarra, 2021.
- [31] J. Alarcía, I. Castaño, J. Castella, S. Espineira Divison, G. Goiri, J. L. Hernández, and A. Jiménez, *Guía de Suelo Radiante*. FEGECA, 2020.
- [32] D. Lázaro Carretero, “Sistema de calefacción y ACS con aporte de Energía Solar Térmica y Suelo Radiante.” Ph.D. dissertation, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones, 2013.
- [33] Uponor, “Fontanería y calefacción.” Uponor Hispania, S.A.U., Madrid, Tech. Rep., 2021.
- [34] M. D. Valverde Arredondo, “Diseño de montacarga hidráulico manual,” Ph.D. dissertation, Universidad Técnica Federico Santa María, 2021.
- [35] F. M. Delgado, “PFC- Estudio técnico y económico para la sustitución del gasóleo por biomasa térmica en edificios urbanos,” Ph.D. dissertation, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, 2012.
- [36] A. Hinojosa, “Evaluación de un sistema de calefacción por suelo radiante,” Ph.D. dissertation, Universidad Carlos III de Madrid, 2015. [Online]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/25352>

Apéndice A

Anexo I: Nomograma de pérdidas de carga lineal Uponor Aqua Pipe (PEX-a)

Factores de corrección para otras temperaturas



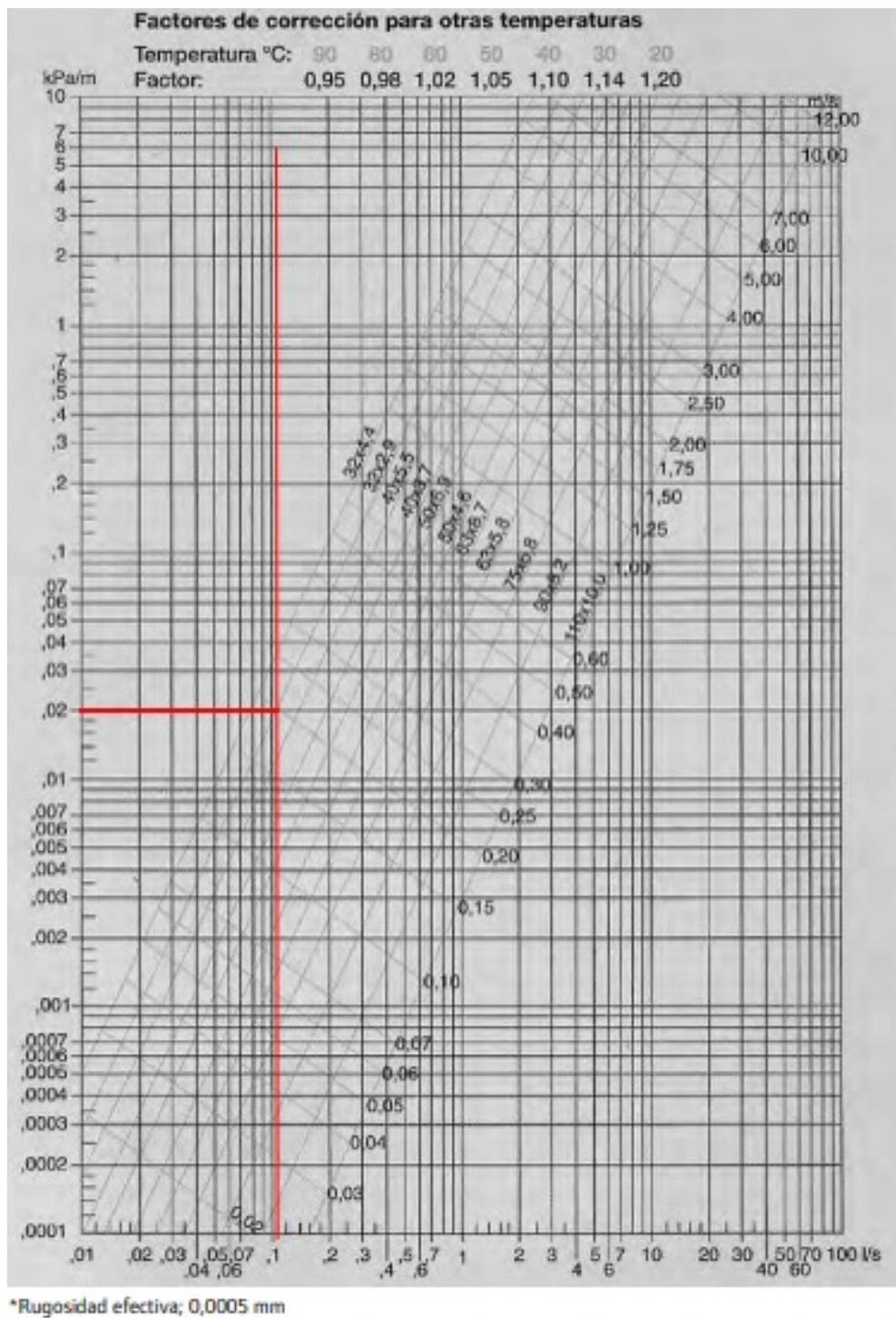
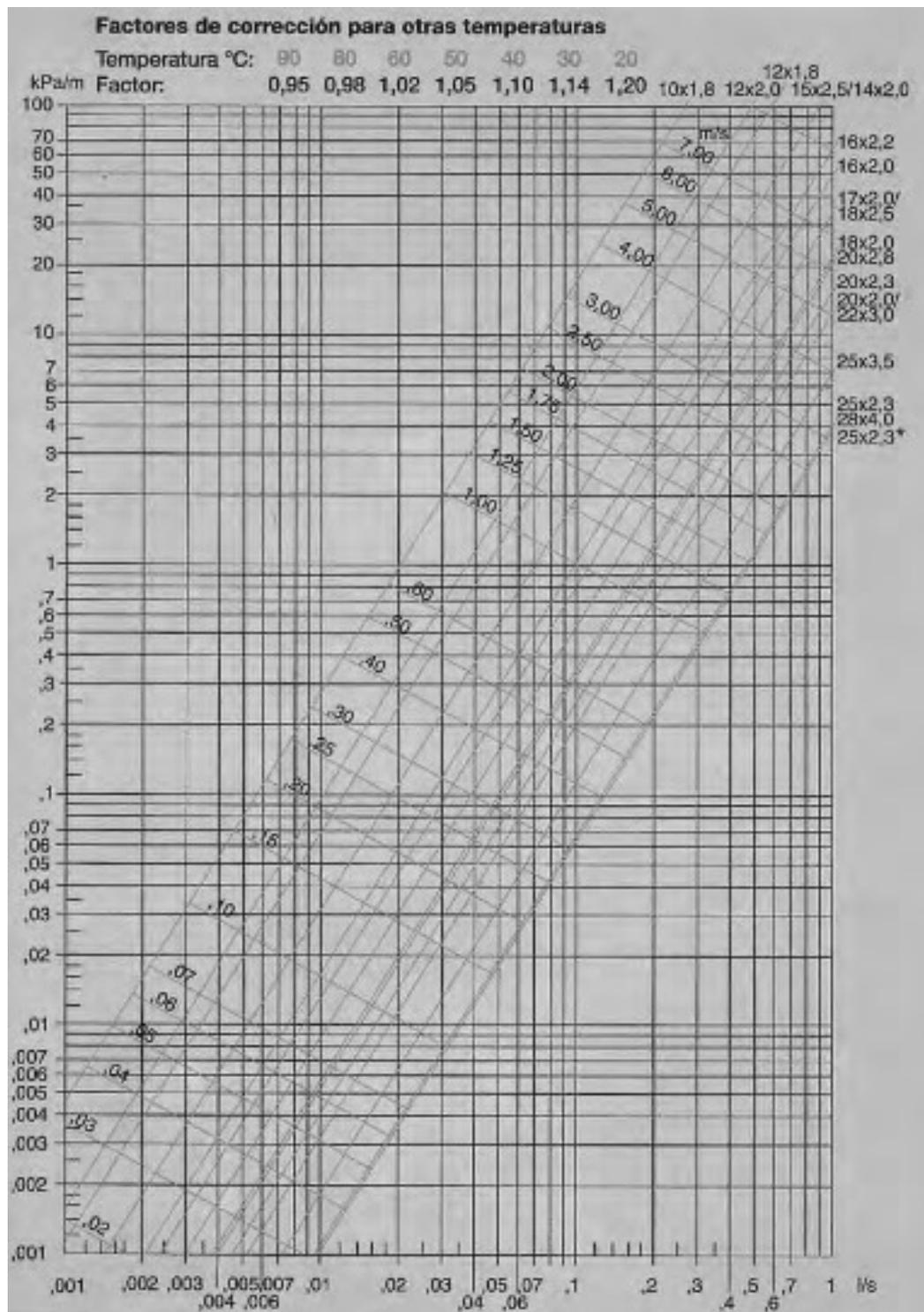


Figura A.1: Pérdida de carga lineal.

Apéndice A

Anexo II: Nomograma de pérdidas de carga Uponor Aqua Pipe (PEX-a)



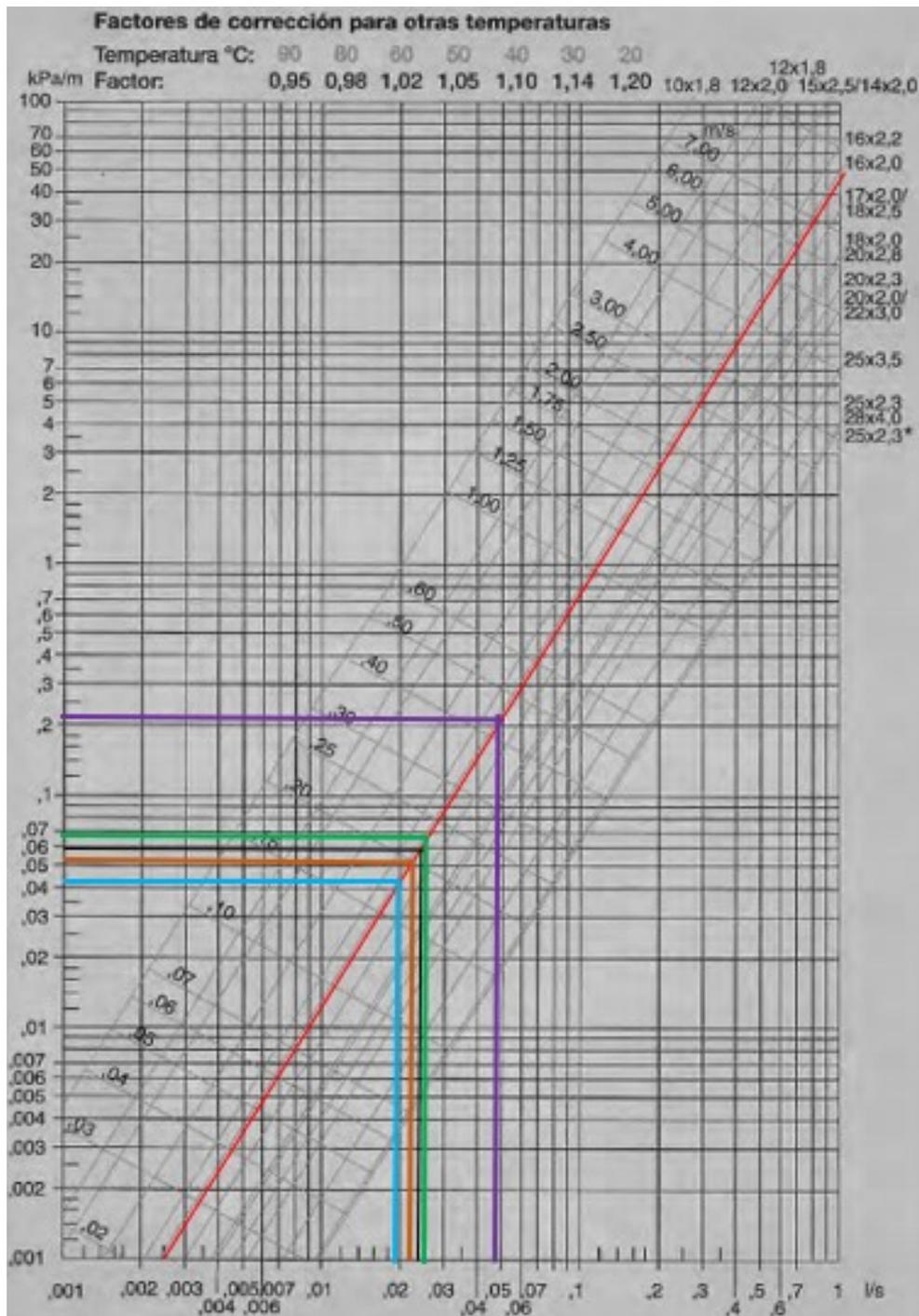
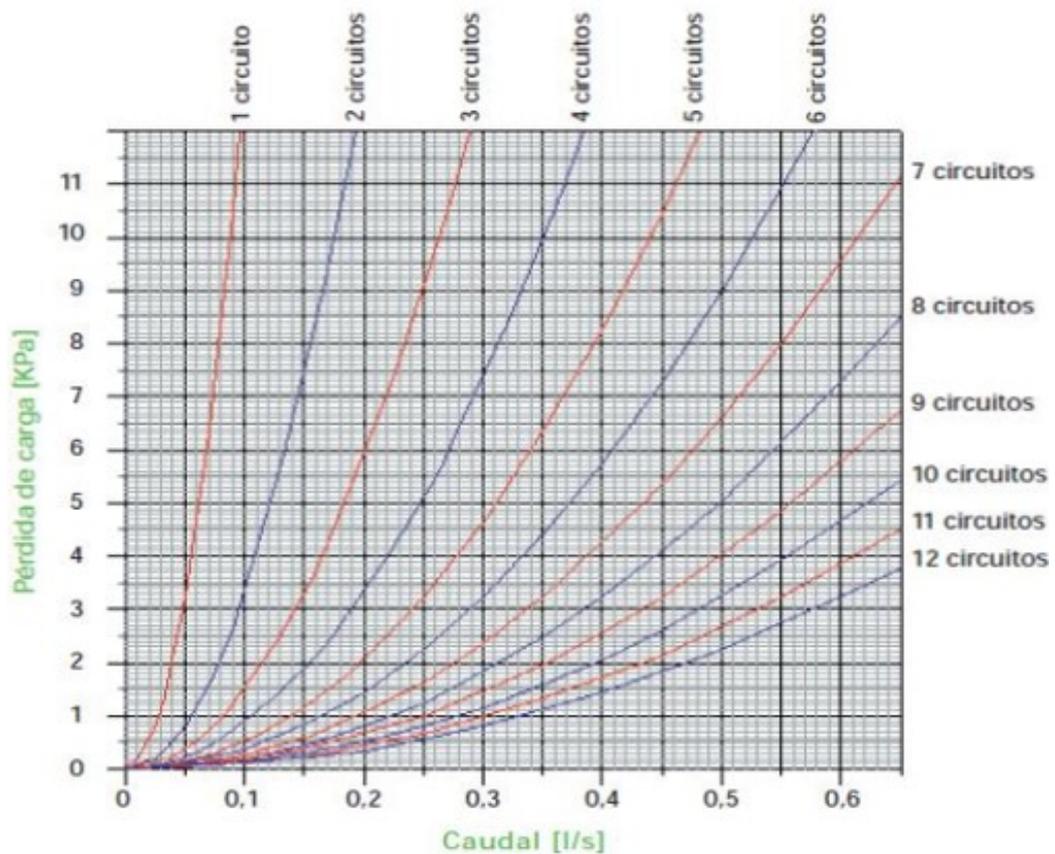


Figura A.1: Pérdida de carga de cada circuito.

Apéndice A

Anexo III: Diagrama de pérdida de carga en el colector



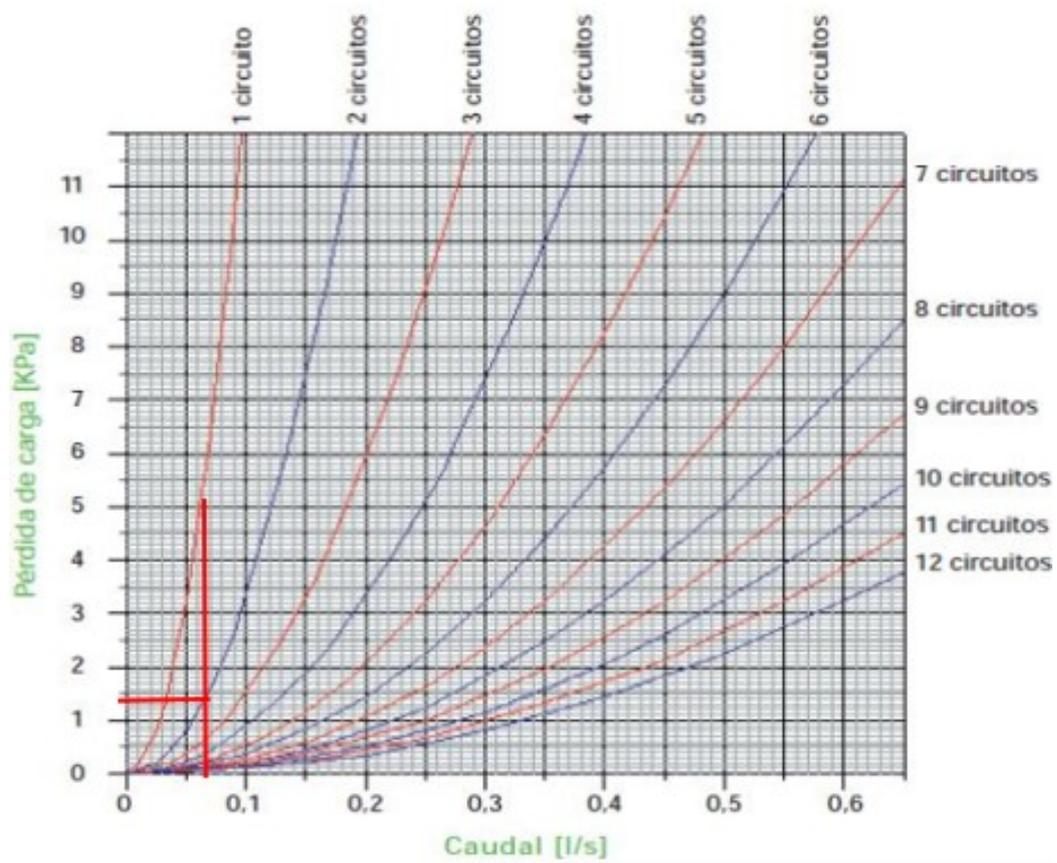


Figura A.1: Pérdida de carga en el colector de la planta baja.

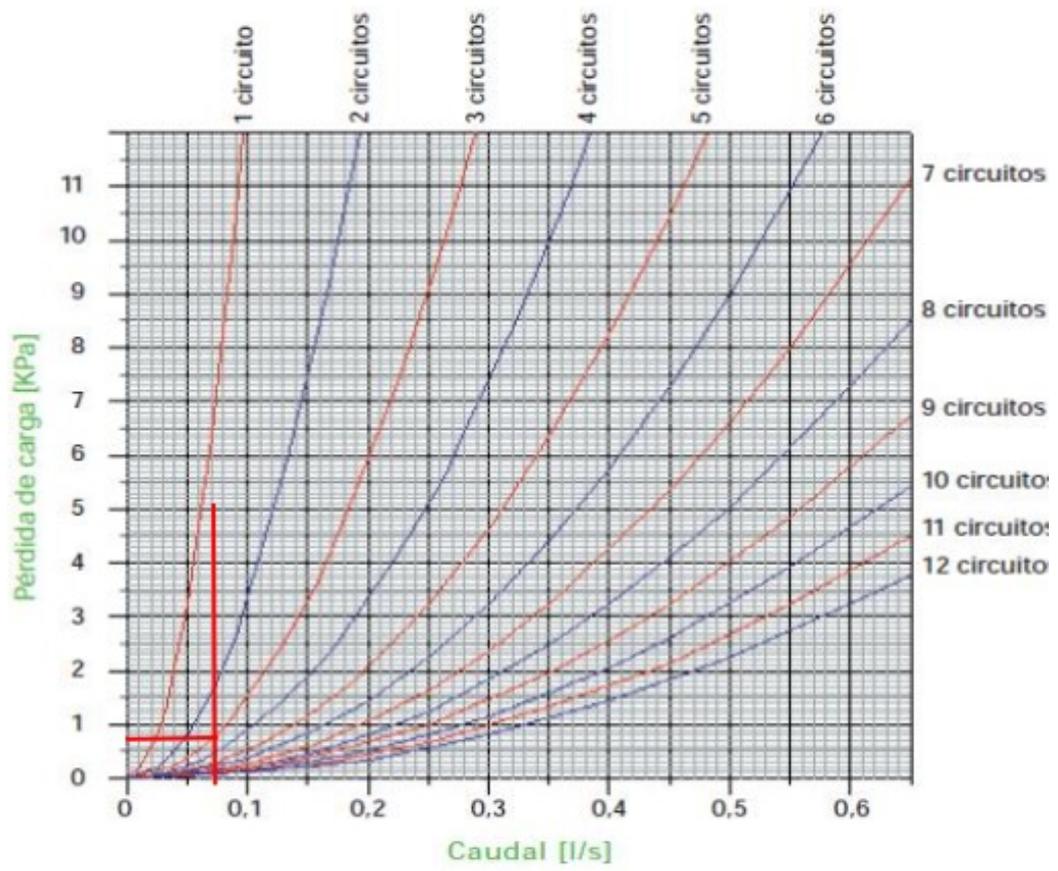


Figura A.2: Pérdida de carga en el colector de la planta alta.