



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

**TITULACIÓN DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**Diseño de sistemas para el aprovechamiento de ERNC en la provisión de
energía a una vivienda de campo en la provincia de Loja**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Ortega Ramírez, Silvana Estefanía.

DIRECTOR: Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, Ing.

LOJA – ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco

DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

De mi consideración:

Que el presente trabajo, denominado: "Diseño de sistemas para el aprovechamiento de ERNC en la provisión de energía a una vivienda de campo en la provincia de Loja", realizado por el profesional en formación: Silvana Estefanía Ortega Ramírez; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, Marzo de 2014

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, Silvana Estefanía Ortega Ramírez, declaro ser la autora del presente trabajo de fin de titulación: “Diseño de sistemas para el aprovechamiento de ERNC en la provisión de energía a una vivienda de campo en la provincia de Loja”, de la Titulación Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Jaramillo Pacheco Jorge Luis, Ing. Director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f.....
Autora: Silvana Estefanía Ortega Ramírez
Cédula: 0705115798

DEDICATORIA

A mi madre, por ser mi mejor amiga, mi ejemplo de vida y superación, por darme la mano en aquellos momentos cuando más lo necesitaba, por tu amor eterno, este logro te lo dedico con mucho cariño. A mi padre, por apoyarme siempre, por sus infinitos consejos y su ejemplo de vida, sé que este momento es importante para ti como lo es para mí. De manera muy especial, a mí querida abuelita, mi segunda madre, por inculcarme los mejores valores y hábitos, para lograr todos los objetivos en mi vida; este es el resultado de todo tu amor. A mi abuelito, que a pesar de no estar físicamente a mi lado, sé que desde el cielo me guiaste para cumplir esta meta. A mis hermanas Tairy y Jossenka, por sus buenos deseos y su cariño que me han ayudado a salir siempre adelante. A mi sobrino Matias, por ser mi motivación constante, para culminar este objetivo. A ti Diego, por estar junto a mi cuando más lo necesito, de ti he aprendido mucho. A mi familia, amigos, y aquellas personas importantes en mi vida, que siempre han estado dispuestas a ofrecerme todo su apoyo.

Silvana

AGRADECIMIENTO

Quiero darle gracias a Dios, por ser quien me ha guiado a lo largo de esta carrera, a mis padres Nieves y Fabian, por ser quienes me brindaron su apoyo incondicional para alcanzar esta meta. A mis hermanas Tairy y Jossenka, por estar a mi lado en aquellos momentos difíciles que tuve que atravesar. A mi sobrino Matías, por ese cariño incomparable que me brinda todos los días. A ti Diego, por ser mi compañero perfecto que ha permanecido junto a mí en las buenas y malas. A mi familia, por apoyarme en cada momento difícil, mi gratitud eterna.

Mi sincero y especial agradecimiento al Ing. Jorge Luis Jaramillo, quien muy acertadamente dirigió este trabajo de fin de titulación, por sus consejos y amistad.

Silvana Estefanía

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
LISTA DE TABLAS	xi
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO 1	5
1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CASAS DE CAMPO ENERGÉTICAMENTE SUSTENTABLES: ESTADO DEL ARTE	5
1.1. Introducción	6
1.2.1. Villas disponibles	7
1.2.1.1. Villa Akarp.	7
1.2.1.2. Casa Aqua.	8
1.2.1.3. Casa Alemana Autosustentable.	9
1.2.1.4. Living Space 21	9
1.2.1.5. Pearl House	10
1.2.1.6. Suburban Loft House Plan 02-001.	11
1.2.2. Análisis de los modelos existentes de viviendas de campo sustentables	11
CAPÍTULO 2	13
2. PREDISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN MÓDULO DE ILUMINACIÓN DE UNA VIVIENDA DE CAMPO EN LA PROVINCIA DE LOJA	13
2.1. Introducción	14
2.2. Descripción de la vivienda de campo seleccionada como prototipo	14
2.3. Prediseño del sistema fotovoltaico para provisión de energía al módulo de iluminación de la vivienda	15
2.3.1. Aproximación de la demanda de energía requerida para iluminación de la vivienda	15
2.3.2. Opciones de arquitectura para el sistema PV.	18
2.3.3. Dimensionamiento de los elementos del sistema PV.	20
2.3.4. Subsistema de captación de energía	21
2.3.4.1. Número de paneles fotovoltaicos requeridos.	21

2.3.4.2.	Subsistema de storage de energía.....	23
2.3.4.3.	Cálculo del regulador de carga.....	23
2.3.4.4.	Cálculo del Inversor.....	23
2.3.4.5.	Calculo arreglo de baterías.....	24
CAPÍTULO 3.....		28
3. INGENIERÍA DE DETALLE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA ILUMINACIÓN DE UNA VIVIENDA DE CAMPO EN LA PROVINCIA DE LOJA		28
3.1.	Introducción.....	29
3.2.	Línea base	29
3.2.1.	Plan para la lección sobre conceptos básicos de energías renovables. 29	
3.2.2.	Demanda programada.....	30
3.2.3.	Niveles disponibles de radiación.....	30
3.2.4.	Potencial de emplazamiento de los módulos PV.....	30
3.3.	Ingeniería de detalle de la iluminación interior	31
3.3.1.	Módulos PV.....	31
3.3.2.	Storage de energía.....	33
3.3.3.	Emplazamiento final de los módulos PV.	35
3.3.4.	Cableado eléctrico.	36
3.3.5.	Tablero de control.....	37
3.3.6.	Tablero de distribución.....	39
3.3.7.	Conexión de los tableros a tierra.....	40
3.3.8.	Conexión de los tableros a tierra.....	40
3.4.	Diseño del sistema fotovoltaico para iluminación exterior	43
3.5.	Cálculo de inversión requerida.....	44
CAPÍTULO 4.....		45
4. INGENIERÍA DE DETALLE DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PROVISIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA PARA UNA VIVIENDA DE CAMPO EN LA PROVINCIA DE LOJA		45
4.1.	Introducción.....	46
4.2.	Diseño preliminar del sistema de provisión de ACS	46
4.2.1.	Provisión de ACS a través de colectores solares	46
4.2.2.	Requerimientos generales para el diseño del sistema	46
4.2.3.	Arquitectura propuesta para el sistema.....	47
4.3.	Ingeniería de detalle del sistema.....	48

4.3.1.	Sobre la metodología de evaluación del desempeño del sistema.....	48
4.3.2.	Selección de los colectores solares	51
4.3.3.	Evaluación del desempeño de los colectores: ganancia y pérdidas ...	52
4.3.4.	Diseño de la red de ACS.....	55
4.3.5.	Control del abastecimiento secundario de ACS	56
4.3.6.	Inversión requerida.....	60
CONCLUSIONES.....		62
BIBLIOGRAFÍA.....		63
1	ANEXO 1	65
1.1	PAPER: Diseño de sistemas de provisión de energía para una vivienda de campo en la provincia de Loja.....	65
2	ANEXO 2	
2.1	Esquema general de las conexiones eléctricas del sistema fotovoltaico para provisión de energía a un módulo de iluminación de una vivienda de campo en la provincia de Loja.....	83
3	ANEXO 3	
3.1	Esquema general de las conexiones internas de tuberías para provisión de agua caliente sanitaria ACS	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Vivienda de campo diseñada y construida para ser energéticamente sustentable.	7
Figura 1.2. Vista panorámica de Villa Akarp, Suecia.....	8
Figura 1.3. Vista panorámica de Casa Aqua, Brasil	8
Figura 1.4. Vista panorámica de la casa alemana autosustentable.....	9
Figura 1.5 Living Space 21, Gran Bretaña	10
Figura 1.6 Pearl house, Gran Bretaña	10
Figura 1.7 Suburban Loft House Plan 02-001, Gran Bretaña.	11
Figura 2.1 Planta general de la parcela en la que se encuentra ubicada la vivienda seleccionado como prototipo en este proyecto.	15
Figura 2.2. Primera opción de arquitectura para el sistema: el módulo PV cubre toda la demanda.	18
Figura 2.3. Segunda opción de arquitectura para el sistema: el módulo PV cubre sólo la demanda del bloque de iluminación interior. Fuente: Diseño de los autores. PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública.	19
Figura 2.4 Tercera opción de arquitectura para el sistema: dos módulos PV individuales cubren la demanda de los bloques de iluminación interior y exterior.	19
Figura 2.5 Cuarta opción de arquitectura para el sistema: módulos PV individuales cubren la demanda de los bloques de iluminación. Fuente: Diseño de los autores. PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública.....	20
Figura 3.1 Arquitectura propuesta para el sistema: módulos PV individuales cubren la demanda de los bloques de iluminación.....	29
Figura 3.2 Emplazamiento de los módulos PV sobre la cubierta de la vivienda.....	31
Figura 3.3 Emplazamiento de los módulos PV en la cubierta de la vivienda	36
Figura 3.4 Esquema eléctrico del tablero de control.	38
Figura 3.5 Módulo de conmutación a utilizar. a) esquema eléctrico, b) implementación física.	39
Figura 3.6. Esquema eléctrico del tablero de distribución y de protección.....	40
Figura 3.7. Esquema de conexiones del módulo de iluminación a) planta baja y b) planta alta de la vivienda.	41
Figura 3.8 Esquema general de las conexiones eléctricas del sistema fotovoltaico para provisión de energía a un módulo de iluminación de una vivienda de campo en la provincia de Loja.....	42
Figura 4.1. Arquitectura general del sistema de provisión de ACS a implementar.	47
Figura 4.2. Colector solar CHISOL.....	52
Figura 4.3. Hoja Excel implementada para aplicar el método F-Chart, en la evaluación del desempeño del colector solar.....	54
Figura 4.4. Resultado de la evaluación del desempeño del colector solar CHISOL, utilizando el método F-Chart. Significado del parámetro f para cada uno de los 12 meses del año	54
Figura 4.5. Emplazamiento del colector solar en la parte posterior de la vivienda.....	55
Figura 4.7. Esquema general del abastecimiento secundario de ACS.	56

Figura 4.6. Esquema general de conexiones internas de tuberías para provisión de agua caliente sanitaria ACS.	57
Figura 4.8. Flujograma de operación del BC	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Análisis comparativo del desempeño de las viviendas de campo preseleccionadas, en función de la demanda de energía, y, de la replicabilidad en la provincia de Loja.	12
Tabla 2.1 Demanda de energía proyectada para iluminación interior.	16
Tabla 2.2 Demanda de energía proyectada para iluminación exterior.	17
Tabla 2.3 Demanda de energía proyectada para iluminación monumental.	17
Tabla 2.4 Nivel de radiación solar anual del cantón Loja.	22
Tabla 2.5 Dimensionamiento del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación interior.	25
Tabla 2.6 Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación interior.	25
Tabla 2.7 Dimensionamiento del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación exterior.	26
Tabla 2.8 Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación exterior.	26
Tabla 2.9 Dimensionamiento del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación monumental.	27
Tabla 2.10 Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación monumental.	27
Tabla 3.1 Niveles de radiación solar anual en el cantón Loja.	30
Tabla 3.2 Principales características técnicas de los módulos PV SIMAX a utilizar en iluminación interior.	32
Tabla 3.3. Características técnicas del regulador.	33
Tabla 3.4. Características técnicas del inversor.	34
Tabla 3.5 Resumen de los componentes requeridos para el SPV de iluminación interior.	35
Tabla 3.6 Principales características técnicas de los módulos PV SIMAX.	43
Tabla 3.7 Resumen de los componentes del sistema fotovoltaico autónomo diseñado. Elaborado por los autores.	43
Tabla 3.8 Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación.	44
Tabla 4.1. Análisis comparativo de las características de algunos colectores solares disponibles en el mercado, y, potencialmente aplicables en este proyecto.	51
Tabla 4.2. Radiación solar en la zona de Loja.	53
Tabla 4.3. Variables utilizadas para aplicar el método F-Chart.	53
Tabla 4.4. Diámetro nominal del sub-ramal en la vivienda.	55
Tabla 4.5. Variables a gestionar por el bloque de control.	58
Tabla 4.6. Implementos y dispositivos requeridos en el bloque de control.	59
Tabla 4.7. Algoritmo de control propuesto.	59
Tabla 4.8. Cálculo de inversión requerida.	61

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo, se describe el diseño de sistemas para el aprovechamiento de ERNC en la provisión de energía para una vivienda de campo, en la provincia de Loja. Primeramente, se analiza el estado del arte, en busca de definir los requerimientos mínimos que debería cumplir una iniciativa de diseño propio. Para cumplir los requerimientos identificados, se analiza el desempeño de varias arquitecturas posibles de diseño, entre las que se selecciona la opción óptima. Se explica la ingeniería de detalle de un sistema fotovoltaico y de un sistema termosolar, diseñados de acuerdo a normas y estándares nacionales e internacionales.

PALABRAS CLAVES: energía, vivienda sustentable, energía solar fotovoltaica, energía solar térmica.

ABSTRACT

In the present research, describes the system design for using "ERNC" in supplying energy to a house that is located in the field, in Loja's province. First of all, the art's state is analyzed in order to define the minimum requirements that have to comply an own design initiative. in order to meet the identified requirements, the performance of several possible design architectures is discussed, and among them the optimal option is selected. The detailed engineering of a photovoltaic and a solar thermal system is explained; they are designed according to national and international standards.

KEYWORDS: energy, sustainable housing, solar photovoltaic, solar thermal energy.

INTRODUCCIÓN

Como un aporte a la diversificación de la matriz energética actual, dependiente de los combustibles fósiles, se necesita ampliar la participación de las fuentes renovables de energía. Se requiere entonces implementar una serie de acciones, desde la innovación en tecnología y procesos, hasta la educación y la concientización del recurso humano. En este contexto, el diseño de sistemas de provisión energía, juega un papel preponderante.

En este contexto y considerando el potencial solar de la provincia de Loja, desde la Sección de Electrónica y Energía SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL, se propuso diseñar una propuesta tecnológica, orientada a la provisión de energía a una vivienda de campo en la provincia de Loja.

El presente trabajo se estructuró en 4 capítulos. En el primer capítulo se analiza el estado del arte en la construcción de viviendas de campo, diseñadas para ser energéticamente sustentables, y, que incorporan técnicas pasivas para disminuir el gasto energético y sistemas activos potenciados por energías renovables. El análisis de estos modelos, sirve de base para definir los requerimientos mínimos de un modelo propio de vivienda rural, adecuado a las condiciones de la provincia de Loja.

En el segundo capítulo, se describe la arquitectura propuesta para un sistema PV, y, se detalla la preselección de equipos. En el tercer capítulo, se desarrolla la ingeniería de detalle de un sistema fotovoltaico para la vivienda, utilizando la metodología recomendada por la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 11 / Energías Renovables.

Finalmente en el cuarto capítulo, se describe la ingeniería de detalle de un sistema de energía solar térmica para la provisión de agua caliente en la vivienda de campo, utilizando la metodología recomendada en el Atlas Solar del Ecuador, editado por el CONELEC..

OBJETIVOS

Objetivo general

- Diseñar sistemas para el aprovechamiento de ERNC en la provisión de energía a una vivienda de campo en la provincia de Loja

Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte en la construcción de viviendas rurales, de forma tal que se determinen los requerimientos mínimos para sistemas de provisión de energía de diseño propio.
- Diseñar un sistema híbrido fotovoltaico para la provisión de energía a la iluminación interior, exterior, y, monumental.
- Diseñar un sistema termosolar para provisión de agua caliente sanitaria ACS.

CAPÍTULO 1

1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CASAS DE CAMPO ENERGÉTICAMENTE SUSTENTABLES: ESTADO DEL ARTE

1.1. Introducción

De acuerdo a [1] y [2], un grupo cada vez mayor de personas, la “generación C”, demuestra un alto grado de dependencia respecto a los dispositivos electrónicos, en búsqueda de un acceso permanente a información. Por otra parte, la "cultura slow" propone la desaceleración del ritmo de vida, en búsqueda del equilibrio entre las obligaciones y el gozar de la vida en familia.

Para ambos grupos, el contacto con la naturaleza es importante, sin dejar de lado la posibilidad de “conectarse con el mundo”. Cada vez es mayor el número de ciudadanos que adquieren viviendas de campo provistas de todos los servicios, lo que lleva a un constante crecimiento de la demanda de energía en las zonas rurales, con serios problemas a resolver especialmente en las zonas alejadas o aisladas de las principales redes de provisión de energía.

En este trabajo, se describe el estado del arte en la construcción de viviendas de campo, diseñadas para ser energéticamente sustentables, a través de la incorporación de técnicas pasivas para disminuir el gasto energético, y, la instalación de sistemas activos potenciados por energías renovables. El análisis de estos modelos, servirá de base para definir los requerimientos mínimos de un modelo propio, adecuado a las condiciones de la provincia de Loja.

1.2. *Algunas propuestas exitosas en el diseño y construcción de viviendas de campo*

El diseño arquitectónico de viviendas de campo energéticamente sustentables (ver Figura 1.1), busca aprovechar los recursos naturales de tal modo que, se minimice el impacto ambiental de la construcción y operación de la vivienda [3].



Figura 1.1. Vivienda de campo diseñada y construida para ser energéticamente sustentable.

Fuente: <http://www.medioambiente.org/2012/04/una-casa-sostenible-ahorra-el-80-de.html>

Las viviendas de campo diseñadas bajo este paradigma, se construyen con materiales ecológicos, reciclables, recuperables, o, reutilizables; y, son capaces de mantener, producir, y, controlar la energía que requieren para su operación.

Dada la diversidad de variables a considerar en el diseño de una vivienda de campo sustentables, en el marco de este proyecto se decidió analizar propuestas existentes en el mercado, cuyas condiciones se adapten a la realidad de las zonas rurales de la provincia de Loja.

1.2.1. Villas disponibles.

1.2.1.1. Villa Akarp.

Esta vivienda fue diseñada por Karin Adalberth, especialista en física de edificios, en 2009 (ver Figura 1.1Figura 1.2).

En el diseño de la vivienda, se cuidó la orientación solar, y, el uso de materiales térmicos. En el tejado, se dispone de 32 m² de superficie, aprovechable para disponer paneles solares y para cosecha de lluvias [4].



Figura 1.2. Vista panorámica de Villa Akarp, Suecia.
Fuente: <http://www.ecomagination.com/meet-the-energy-plus-home-villa-akarp-ups-the-ante>

1.2.1.2. Casa Aqua.

Esta vivienda, diseñada por Rodrigo Mindlin Loeb, es un prototipo de bajo costo, construido para un Expo Ambiental (ver Figura 1.3)

La vivienda se diseñó para un clima cálido, con niveles de lluvia media. Cuenta con un sistema de cosecha de lluvias, y cortinas verdes para el control de temperatura. La vivienda se construyó con tierra, hormigón, y ladrillos [5]. La vivienda posee paneles y colectores solares, y, sistemas de reciclado de agua.



Figura 1.3. Vista panorámica de Casa Aqua, Brasil
Fuente: <http://www.dforceblog.com/2010/05/05/casa-ecologica-sustentable-y-de-bajo-costo/>

1.2.1.3. Casa Alemana Autosustentable.

Esta vivienda es una propuesta arquitectónica de la Universidad Técnica de Darmstadt, Alemania (ver Figura 1.4).

Este prototipo es impulsado por el gobierno alemán, y, propone el aprovechamiento de energía solar pasiva y activa [6].



Figura 1.4. Vista panorámica de la casa alemana autosustentable.
Fuente:http://mexiko.ahk.de/fileadmin/ahk_mexiko/Dokumente/Casa_Alemana_Broschuere_SPAN_Webversion.pdf

1.2.1.4. Living Space 21.

Esta vivienda fue diseñada por Avalon Timber Frame Homes. Es la primera solución inglesa para lotes pequeños (ver Figura 1.5).

La vivienda se construye con materiales de fácil reposición (madera); cosecha el agua de lluvia; y, optimiza la ganancia solar pasiva para iluminación, ventilación, y, generación de electricidad [7].



Figura 1.5 Living Space 21, Gran Bretaña
Fuente: <http://arquitecturadecasas.blogspot.com/2008/09/lote-pequeo-casa-sustentable.html>

1.2.1.5. *Pearl House.*

Esta vivienda fue diseñada por David Fanchon. Esta vivienda se construyó con materiales naturales, e, incluye el aprovechamiento solar activo y pasivo optimizado, para ventilación, calefacción, provisión de agua caliente sanitaria, y, electricidad (ver Figura 1.6) [8].



Figura 1.6 Pearl house, Gran Bretaña.
Fuente: <http://keetsa.com/blog/science-and-technology/solar-power/the-solaleya-pearl-house-offers-sustainable-energy/>

1.2.1.6. Suburban Loft House Plan 02-001.

Esta vivienda fue diseñada por Free Green's. Este prototipo es óptimo para zonas rurales sin dotación de servicios básicos, y, posee una estructura solar activa y pasiva optimizada (ver Figura 1.7) [9].



Figura 1.7 Suburban Loft House Plan 02-001, Gran Bretaña.
Fuente: <http://www.freegreen.com/Free-House-Plan-Overview-New/4/Suburban-Loft-House-Plan.aspx>

1.2.2. Análisis de los modelos existentes de viviendas de campo sustentables

Un breve análisis de los modelos de viviendas de campos descritos, en cuanto a su potencial adaptabilidad a las condiciones de la provincia de Loja, permitió preseleccionar dos modelos: villa Akarp y Living Space 21 [4], [7].

Los modelos preseleccionados, fueron analizados con profundidad, sobre la base de los principales parámetros constructivos y operativos que influyen en el consumo de energía, y, considerando la replicabilidad en la provincia de Loja (ver Tabla 1.1). Los resultados muestran que el modelo que mejor se adapta a las condiciones de la provincia de Loja es Living Space 21.

Tabla 1.1 Análisis comparativo del desempeño de las viviendas de campo preseleccionadas, en función de la demanda de energía, y, de la replicabilidad en la provincia de Loja.

Parámetros	Villa Akarp	Replicable	Living Space 21	Replicable
Materiales empleados en la construcción	Hormigón y ladrillos.	✓	Madera, vidrio.	✓
Iluminación	Natural	✓	Natural	✓
Calefacción/Ventilación	No	X	Ventanas en el techo	✓
Provisión Energía Eléctrica	Paneles solares	✓	Paneles solares	✓
Provisión agua caliente sanitaria	No	X	No	X
Cosecha de lluvias	Si	✓	Si	✓

Fuente: diseño de los autores

CAPÍTULO 2

2. PREDISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA A UN MÓDULO DE ILUMINACIÓN DE UNA VIVIENDA DE CAMPO EN LA PROVINCIA DE LOJA

2.1. Introducción

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles, ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas, tanto en zonas urbanas como rurales con el potencial suficiente.

En el caso de la provincia de Loja, en amplias zonas rurales se registra una alta radiación solar aprovechable para la generación de energía eléctrica y para la provisión de agua caliente sanitaria.

En este documento, se describe el prediseño de un sistema fotovoltaico para alimentación de un módulo de iluminación, para ser utilizado en una vivienda de campo de la provincia de Loja, al sur del Ecuador.

2.2. Descripción de la vivienda de campo seleccionada como prototipo

En un trabajo anterior, se analizó las características más relevantes de las viviendas de campos energéticamente sustentables, diseñadas y construidas en diferentes lugares del mundo, con la intención de evaluar la prefactibilidad de la implementación de las mejores prácticas constructivas y operativas de esas viviendas, en las condiciones geográficas de la provincia de Loja.

En este contexto, se decidió evaluar la potencialidad de emplear energía fotovoltaica para la provisión de energía a un módulo de iluminación de una vivienda de campo. La vivienda seleccionada como prototipo, se encuentra ubicada a un costado de la vía Loja - Malacatos, en el sector de Landanguí, a 25 Km de Loja.

La vivienda seleccionada puede ser catalogada como una casa de descanso, diseñada para ser habitada por 4 o 5 personas, en espacios distribuidos en dos plantas (primera planta: cocina-comedor, sala, y, baño social; segunda planta: dos habitaciones, un baño, y, un ático). La vivienda se construyó con estructura metálica, ladrillo, techo de zinc, y, piso de cemento.

En la parcela en la que se encuentra la vivienda, se planea implementar a futuro una piscina, jardines, juegos infantiles, y, un área de cultivo (ver Figura 2.1). El prediseño e

ingeniería de detalle de las soluciones tecnológicas para proveer de energía a estas implementaciones, forman parte de los trabajos futuros en este proyecto.

Por la ubicación geográfica (en la cabecera del Valle de Catamayo) y por la altura (1900 msnm), la zona en la que se encuentra la vivienda, posee un clima acogedor, con una temperatura promedio de 21°C.

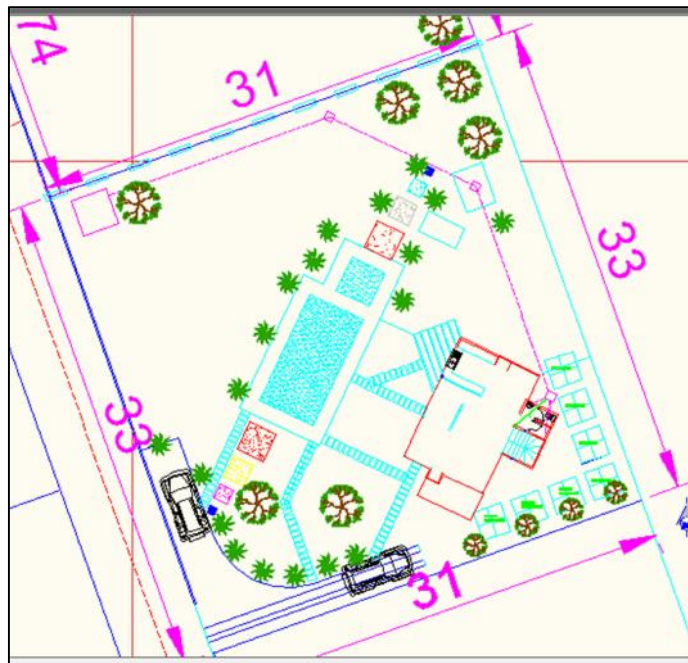


Figura 2.1 Planta general de la parcela en la que se encuentra ubicada la vivienda seleccionada como prototipo en este proyecto.

Fuente: Diseño del Arq. William Medina Maldonado

2.3. Prediseño del sistema fotovoltaico para provisión de energía al módulo de iluminación de la vivienda

2.3.1. Aproximación de la demanda de energía requerida para iluminación de la vivienda

En una casa de campo, la demanda de energía puede variar en función de las costumbres de los ocupantes, y, de las condiciones del clima.

La Tabla 2.1, aproxima la demanda de energía requerida para iluminación interior de la vivienda. La vivienda seleccionada estará habitada por 4 o 5 personas durante los fines de semana, pero se prevé que el número de ocupantes o la intensidad de uso aumenten en días feriados. La proyección de demanda de energía se realizó para un uso extensivo, considerando las horas luz disponibles en la zona. Se considera como parte de la iluminación interior, a todas las luminarias dispuestas dentro de la vivienda. Para la proyección de la demanda, se consideró el consumo de lámparas LFC SYLVANIA de 20W, de 6000 h de vida útil, y, de color blanco luz día.

La Tabla 2.2, resume el cálculo de la demanda de energía requerida para iluminación exterior. Se entiende como parte de la iluminación exterior, a todas las luminarias fuera de la vivienda. La proyección se realizó asumiendo la utilización de lámparas High Power LED Streetlight SP90 de 28W, 50000 h de uso, de color blanco puro.

Tabla 2.1 Demanda de energía proyectada para iluminación interior.

Espacio	Número de lámparas	Potencia, W	Uso, h	Energía W/h
Cocina - comedor	2	20	10	400
Sala	1	20	10	200
Baño 1	1	20	2	40
Baño 2	1	20	2	40
Escalera	2	20	5	200
Habitación 1	1	20	6	120
Habitación 2	1	20	6	120
Ático	1	20	3	60
Entrada	1	20	5	100
SUBTOTAL, W/h				1280
FACTOR DE RESERVA, 25%				320
TOTAL, W/h				1600

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 2.2 Demanda de energía proyectada para iluminación exterior.

Modelo	Número de lámparas	Potencia, W	Uso, h	Energía W/h
SP90	1	28	10	280
SUBTOTAL, W/h				280
FACTOR DE RESERVA, 5%				14
TOTAL, W/h				294

Fuente: Elaboración de los autores.

La Tabla 2.3, describe el cálculo de la demanda de energía requerida para iluminación monumental. La iluminación monumental incluye todas las lámparas ubicadas en jardines, en la fachada exterior, y, en la zona de la piscina. La proyección de demanda de energía se realizó asumiendo la utilización de reflectores y cintas LED.

Tabla 2.3 Demanda de energía proyectada para iluminación monumental.

Ubicación	Número de lámparas	Potencia, W	Uso, h	Energía W/h
Fachada exterior (reflectores LED)	6	30	10	1800
Piscina (cintas LED flexibles sumergibles RGB)	4	6	6	144
Jardinería	10	4	10	400
SUBTOTAL, W/h				2344
FACTOR DE RESERVA, 5%				586
TOTAL, W/h				2930

Fuente: Elaboración de los autores.

En total, trabajando en régimen extendido, el módulo de iluminación (interna, externa, y, monumental), requeriría de 4,8 kW/h. Para cubrir esta demanda, se requiere de un sistema PV robusto cuyo costo estaría fuera del presupuesto previsto, razón por la cual fue necesario analizar diversas arquitecturas para el sistema.

2.3.2. Opciones de arquitectura para el sistema PV.

Analizar el comportamiento del sistema PV para provisión de energía al módulo de iluminación de la vivienda de campo, bajo 4 diferentes arquitecturas, ayudó a seleccionar la mejor opción técnica y económica para cubrir la demanda de energía proyectada.

La Figura 2.2 muestra la primera opción de arquitectura que, cubre toda la demanda de energía desde el módulo PV. En función de la disponibilidad de energía en el módulo de storage, un bloque electrónico se encarga de conmutar la alimentación de la carga, ya sea desde el módulo PV o ya desde la red pública.

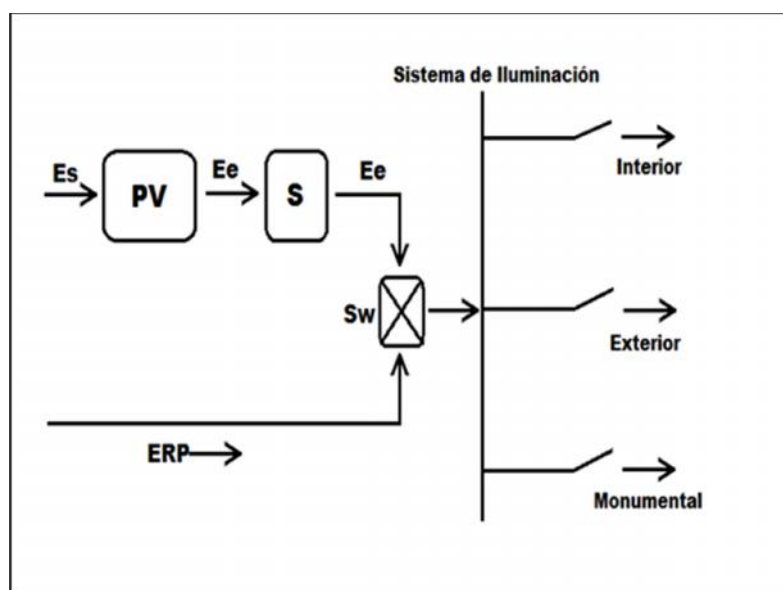


Figura 2.2. Primera opción de arquitectura para el sistema: el módulo PV cubre toda la demanda.

Fuente: Diseño de los autores. PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública

En la segunda opción de arquitectura (Ver Figura 2.3), el módulo PV alimenta sólo el bloque de iluminación interior, respaldado por la red pública a través del módulo de transferencia. Los otros bloques de iluminación se alimentan directamente de la red pública.

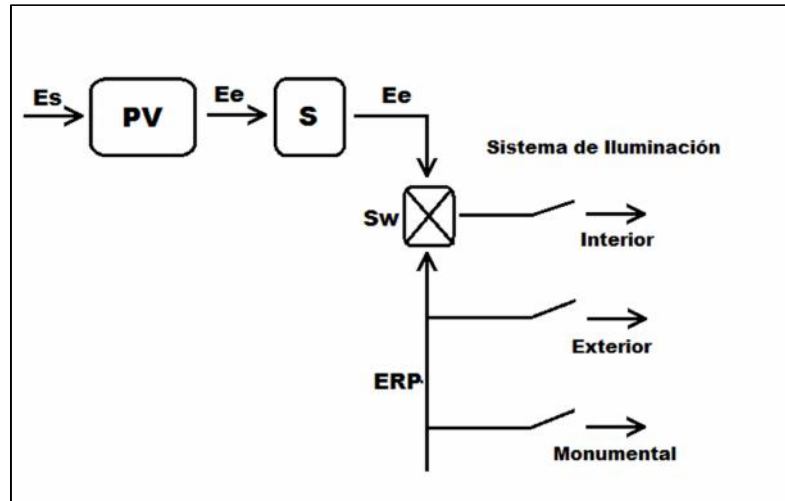


Figura 2.3. Segunda opción de arquitectura para el sistema: el módulo PV cubre sólo la demanda del bloque de iluminación interior. Fuente: Diseño de los autores. PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública.

En la tercera opción de arquitectura (Ver Figura 2.4.), un módulo PV alimenta el bloque de iluminación interior, respaldado por la red pública a través del módulo de transferencia. Un segundo módulo PV, sin apoyo de la red pública, alimenta el bloque de iluminación externa. El bloque de iluminación monumental se alimenta directo de la red pública.

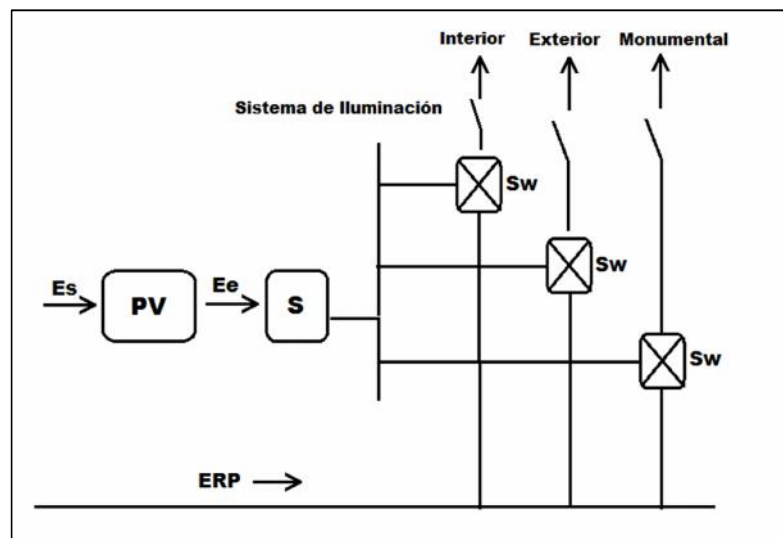


Figura 2.4 Tercera opción de arquitectura para el sistema: dos módulos PV individuales cubren la demanda de los bloques de iluminación interior y exterior. Fuente: Diseño de los autores. PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública.

En la cuarta opción de arquitectura (Ver Fig. 2.5.), 3 módulos PV individuales alimentan la iluminación interior, exterior, y, monumental, respaldados por la red pública a través de módulos individuales de transferencia.

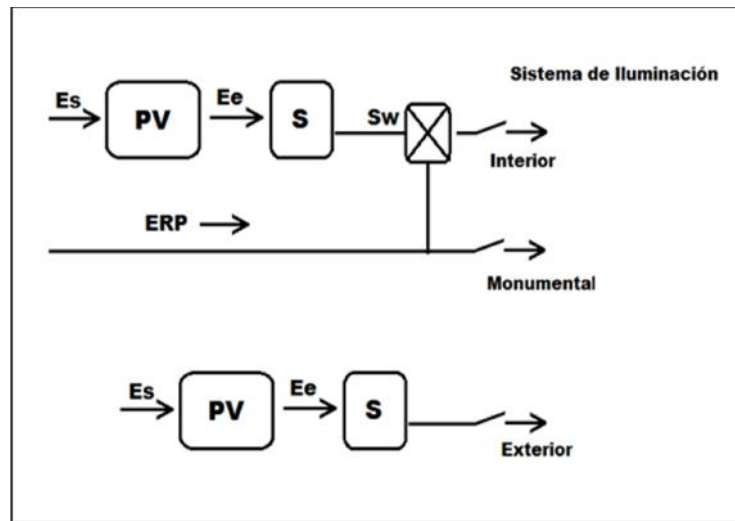


Figura 2.5 Cuarta opción de arquitectura para el sistema: módulos PV individuales cubren la demanda de los bloques de iluminación. Fuente: Diseño de los autores. PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública

Entre las opciones presentadas, se ha escogido, la cuarta opción de arquitectura, ya que es la que mejor se adapta a los requerimientos.

Esta arquitectura presenta un sistema que lo diferencia de los anteriores, ya que como se puede apreciar (Ver Figura 2.5), este sistema presenta una distribución bien definida en cuanto a iluminación. Es por ello, que al trabajarlo de esta manera, separada, se puede controlar la iluminación de forma eficaz, para cada uno de los sistemas (interior, monumental y exterior).

2.3.3. Dimensionamiento de los elementos del sistema PV.

En el marco de este proyecto, para el dimensionamiento de los elementos del sistema PV, se decidió utilizar la metodología sugerida en el atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, editado por el CONELEC [10]. Los módulos PV que proveerán de energía a los bloques de iluminación interior y monumental, operarán en 24 V; mientras que el módulo de alimentación a la iluminación exterior, lo hará en 12V.

Para el proceso de cálculo del sistema fotovoltaico para iluminación, es necesario, tener en cuenta los siguientes subsistemas para el prediseño:

- Subsistema de captación de energía.
- Subsistema de storage de energía.

2.3.4. Subsistema de captación de energía.

2.3.4.1. Número de paneles fotovoltaicos requeridos.

Como primer paso se debe realizar la transformación de la corriente en AC (corriente alterna) a DC (corriente directa), como se muestra en la ecuación (1):

$$CT_{cd} = CT_{ca} \times f_i, \quad (1)$$

En dónde,

CT_{cd} , es la carga total en DC.

CT_{ca} , es la carga total en AC.

f_i , es el factor de inversión, igual a 1,2 que representa las pérdidas de inversión de voltaje.

La intensidad de corriente diaria I_{cd} , se obtiene mediante la ecuación (2):

$$I_{cd} = \frac{CT_{cd}}{V_{cd}} \quad (2)$$

En dónde,

CT_{cd} , es la carga total en DC.

V_{cd} , es la tensión del sistema fotovoltaico.

La carga de corriente corregida I_{cda} , se obtiene mediante la ecuación (3):

$$I_{cda} = I_{cd} \times fs \quad (3)$$

En dónde,

I_{cd} , es la corriente diaria del sistema.
 f_s , es el factor de seguridad del sistema, igual a 1.2 (pérdidas del sistema).

De acuerdo al atlas solar del Ecuador [10], (Ver Tabla 2.4), muestra los valores mensuales de la radiación solar en el cantón Loja.

Tabla 2.4 Nivel de radiación solar anual del cantón Loja.

Meses año	Nivel de radiación solar (Wh/m ² /día)
Enero	4750
Febrero	4925
Marzo	4575
Abril	4050
Mayo	4275
Junio	4400
Julio	4575
Agosto	5100
Septiembre	5275
Octubre	5450
Noviembre	5450
Diciembre	5275
Promedio Anual:	4841,67

Fuente: CONELEC. Consejo Nacional de Electricidad. "Atlas Solar del Ecuador". [Online]: Disponible en: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1792>

Por lo tanto la radiación solar media (I_{cd_m}) en el peor mes del año, es de 4050 Wh/m²/día en el mes de Abril, entonces la corriente pico I_p se calcula con la ecuación (4):

$$I_p = \frac{I_{cd_a}}{I_{cd_m}} \quad (4)$$

En dónde,

I_{cd_a} , es la carga de corriente corregida.
 I_{cd_m} , es la radiación solar media.

Para calcular el número de paneles fotovoltaicos y con la ayuda de la ecuación (5), se obtiene:

$$N_{pf} = \frac{I_p}{I_{pm}}, \quad (5)$$

En dónde,

I_p , es la corriente pico del sistema.

I_{pm} , es la corriente pico del panel fotovoltaico.

2.3.4.2. Subsistema de storage de energía.

Los subsistemas de storage de energía, son dispositivos que almacenan energía de tal manera, que esta pueda ser utilizada posteriormente. El subsistema de energía consta de un arreglo de baterías, un regulador de carga, y de un inversor.

2.3.4.3. Cálculo del regulador de carga

El regulador de carga evita las sobrecargas posibles que pueden presentarse en las baterías, asegura que el sistema sea eficiente, y, para determinar la corriente máxima del regulador, se calcula a través de la ecuación (6):

$$I_{REG} = I_{sc} \times N_p \times \text{factor de sobredimensionamiento} \quad (6)$$

En dónde,

I_{sc} , es la corriente en corto circuito del panel fotovoltaico.

N_p , número de paneles.

2.3.4.4. Cálculo del Inversor

El inversor es el dispositivo que se encarga de transformar la corriente directa que es generada en el sistema fotovoltaico, en corriente alterna, para determinar la capacidad requerida por el inversor, es necesario determinar la carga pico del sistema.

2.3.4.5. *Calculo arreglo de baterías*

La función principal de las baterías, es la de acumular energía del sistema fotovoltaico durante las horas de radiación solar, para poderla utilizar en la noche o en días nublados con poca radiación solar. Para determinar la reserva de energía requerida por el sistema, debemos calcular la capacidad nominal de batería (C_{nb}), considerando la carga de corriente corregida (I_{cda}), y los días de autonomía del sistema, este valor por lo general no pasa de 3 a 4 días de autonomía.

$$C_{nb} = I_{cda} \times \text{días de reserva}$$

Para determinar el arreglo de las baterías, debemos obtener la capacidad corregida del banco de baterías (C_{nbc}), con una profundidad de descarga de la batería que es 0,8.

$$C_{nbc} = \frac{C_{nb}}{\text{profundidad de descarga}}$$

Por lo tanto, el arreglo de las baterías en paralelo, se lo determina con la capacidad corregida del banco de baterías y la capacidad nominal de la batería que se encuentra en las hojas de datos:

$$A_{Bp} = \frac{C_{nbc}}{C_{nb}} \quad (7)$$

En dónde,

C_{nbc} , es la capacidad corregida del banco de baterías.

C_{nb} , es la capacidad nominal de batería.

La Tabla 2.5. resume los resultados obtenidos en el dimensionamiento del módulo PV que alimenta a la iluminación interior.

Tabla 2.5 Dimensionamiento del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación interior.

Carga total en AC	1600 W/día	
Carga total en DC	1920 W/día	
Tensión del sistema	24 Vdc	
Módulo PV	Modelo: SIMAX	
	Potencia: 190 Wp	
	Número de paneles: 4	
Módulo de storage	Regulador	Modelo: Morningstar TriStar
		Tensión nominal: 24Vdc
		Corriente máxima: 45 ^a
	Inversor	Modelo: EXMORK
		Potencia: 2000W
		Vac/f: 120Vac/60Hz
	Baterías	Modelo: MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah
		Número de baterías: 6

Fuente: Diseño de los autores.

La Tabla 2.6 resume el cálculo del presupuesto referencial de implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación interior, considerando rubros de transporte, mano de obra, y, materiales y equipos.

Tabla 2.6 Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación interior.

Materiales y equipos, USD	5442,45
Mano de obra, USD	470,00
Dirección técnica y administrativa, USD	1036,86
Imprevistos, USD	345,62
Total, USD	7294,94

Fuente: Diseño de los autores.

La Tabla 2.7 resume los resultados obtenidos en el dimensionamiento del módulo PV que alimenta a la iluminación exterior.

Tabla 2.7 Dimensionamiento del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación exterior.

Carga total en AC	294 W/día	
Carga total en DC	352,8 W/día	
Tensión del sistema	12 Vdc	
Módulo PV	Modelo: SIMAX	
	Potencia: 140 Wp	
	Número de paneles: 1	
Módulo de storage	Regulador	Modelo: Morningstar SolarHome SHS
		Tensión nominal: 12Vdc
		Corriente máxima: 10 ^a
	Inversor	Modelo:
		Potencia:
		Vac/f:
	Baterías	Modelo: MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah
		Número de baterías: 1

Fuente: Diseño de los autores

La Tabla 2.8 resume el cálculo del presupuesto referencial de implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación exterior, considerando rubros de transporte, mano de obra, y, materiales y equipos.

Tabla 2.8 Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación exterior.

Materiales y equipos, USD	729,05
Mano de obra, USD	135,00
Dirección técnica y administrativa, USD	129,61
Imprevistos, USD	43,20
Total presupuesto general, USD	1036,86

Fuente: Diseño de los autores.

La Tabla 2.9 resume los resultados obtenidos en el dimensionamiento del módulo PV que alimenta a la iluminación monumental.

Tabla 2.9 Dimensionamiento del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación monumental.

Carga total en AC	2930 W/día	
Carga total en DC	4392 W/día	
Tensión del sistema	24 Vdc	
Módulo PV	Modelo: SIMAX	
	Potencia: 190 Wp	
	Número de paneles: 8	
Módulo de storage	Regulador	Modelo: Morningstar TriStar
		Tensión nominal: 24Vdc
		Corriente máxima: 60 ^a
	Inversor	Modelo:
		Potencia:
		Vac/f:
	Baterías	Modelo: MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah
		Número de baterías: 12

Fuente: Diseño de los autores

La Tabla 2.10 resume el cálculo del presupuesto referencial de implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación monumental, considerando rubros de transporte, mano de obra, y, materiales y equipos.

Tabla 2.10 Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación monumental.

Materiales y equipos, USD	8356,50
Mano de obra, USD	690,00
Dirección técnica y administrativa, USD	1506,97
Imprevistos, USD	502,32
Total presupuesto general, USD	11055,80

Fuente: Diseño de los autores.

CAPÍTULO 3

3. INGENIERÍA DE DETALLE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA PARA ILUMINACIÓN DE UNA VIVIENDA DE CAMPO EN LA PROVINCIA DE LOJA

3.1. Introducción

Como parte del proyecto de diseño e implementación de una vivienda de campo autosustentable desde una perspectiva energética, respondiendo a los requerimientos de energía y a la disponibilidad de fuentes de energía en la zona sur del Ecuador, en un trabajo anterior se diseñó un sistema fotovoltaico SPV para alimentación de la iluminación de la vivienda.

En este trabajo, se describe la ingeniería de detalle del SPV requerido para iluminación interior, exterior, y, monumental de la vivienda, utilizando la metodología sugerida en el Atlas Solar del Ecuador con fines de generación, editado por el CONELEC [10].

3.2. Línea base

3.2.1. Plan para la lección sobre conceptos básicos de energías renovables.

En un trabajo anterior, se justificó la decisión de adoptar para el SPV una arquitectura en la que módulos PV individuales alimentan la iluminación interior, exterior, y, monumental, respaldados por la red pública a través de módulos individuales de transferencia (ver Figura 3.1)

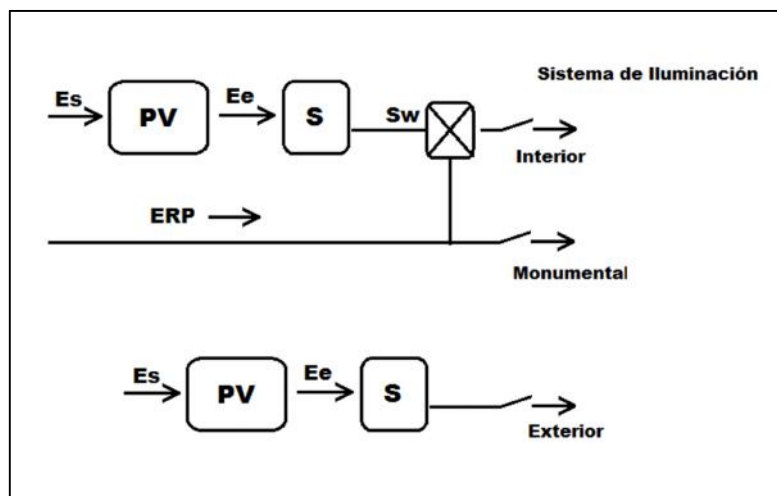


Figura 3.1 Arquitectura propuesta para el sistema: módulos PV individuales cubren la demanda de los bloques de iluminación.
Fuente: Diseño de los autores. PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública.

3.2.2. Demanda programada.

Para efectos de ingeniería de detalle, se estableció una demanda de energía en la vivienda de 1,6 kW/día para iluminación interior y monumental (carga total requerida en AC), y, de 0,294 kW/día para iluminación exterior.

3.2.3. Niveles disponibles de radiación.

Por la ubicación geográfica (en la cabecera del Valle de Catamayo) y por la altura (1900 msnm), la zona en la que se encuentra la vivienda registra una temperatura promedio de 21°C y altos niveles de radiación (ver Tabla 3.1) [10].

Tabla 3.1 Niveles de radiación solar anual en el cantón Loja.

Meses del año	Nivel de radiación solar (Wh/m ² /día)
Enero	4750
Febrero	4925
Marzo	4575
Abril	4050
Mayo	4275
Junio	4400
Julio	4575
Agosto	5100
Septiembre	5275
Octubre	5450
Noviembre	5450
Diciembre	5275
Promedio anual	4842

Fuente: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1792>

3.2.4. Potencial de emplazamiento de los módulos PV.

La vivienda para la cual se diseña la ingeniería de detalle del SPV, se encuentra ubicada a un costado de la vía Loja - Malacatos, en el sector de Landangui, a 25 Km de Loja.

Considerando la posición geográfica, y, con la intención de captar la mayor radiación solar posible, se propuso ubicar los módulos PV sobre la cubierta de la vivienda, en dirección noreste, tal como lo muestra la Figura 3.2.

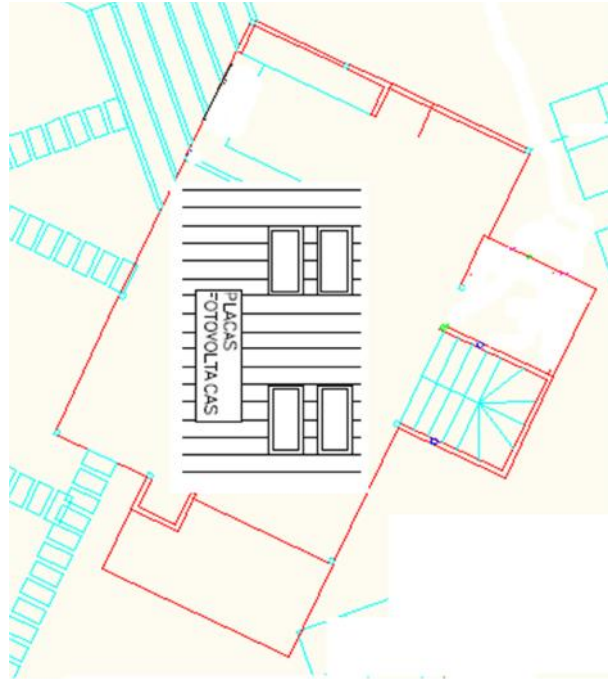


Figura 3.2 Emplazamiento de los módulos PV sobre la cubierta de la vivienda
Fuente: Realizado por autores

3.3. Ingeniería de detalle de la iluminación interior

3.3.1. Módulos PV.

Considerando sus prestaciones técnicas y disponibilidad en el mercado, se decidió utilizar módulos PV SIMAX de 190Wp y 24VCD, cuyas características principales se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Principales características técnicas de los módulos PV SIMAX a utilizar en iluminación interior.

Tipo de célula	Policristalino
Largo, mm	1580
Ancho, mm	808
Profundidad, mm	50
Peso, Kg	15,5
Voltaje nominal, V	24
Máxima potencia, W	190
Corriente pico, A	5,77

Fuente: <http://www.proviento.com.ec/>

La carga diaria total requerida en DC (CT_{cd}), se determinó a través de la carga total requerida en AC (CT_{ca}), utilizando la expresión (8) [10]:

$$CT_{cd} = CT_{ca} \times \text{factor de inversion} \quad (8)$$

Por lo general, se recomienda un factor de inversión de 1,2 para cubrir las pérdidas de energía en la inversión de voltaje. Con esto, la CT_{cd} se aproximó en 1920 Wh/día.

A partir de la carga diaria total requerida en AC y la tensión del sistema fotovoltaico, se estimó la intensidad de corriente diaria (I_{cd}) en 80 Ah, mediante la ecuación (9).

$$I_{cd} = \frac{CT_{cd}}{V_{cd}} \quad (9)$$

La carga de corriente corregida (I_{cd_a}) de 96 Ah, se obtuvo al multiplicar la corriente diaria por un factor de seguridad del sistema, equivalente a 1,2 (ver expresión 10).

$$I_{cd_a} = I_{cd} \times \text{factor de seguridad} \quad (10)$$

Considerando que la radiación solar media (I_{cd_m}) en el cantón Loja, en el peor mes del año (Abril), es del orden de 4050 Wh/m²/día, la corriente pico del sistema (I_p) se estimó en 23,73 A (ver ecuación 11).

$$I_p = \frac{I_{cd_a}}{I_{cd_m}} \quad (11)$$

Conociendo la corriente pico del sistema y la corriente pico del módulo PV (I_{pm}), y, utilizando la expresión (12), se calculó el número requerido de módulos PV (N_{pf}) en 4.

$$N_{pf} = \frac{I_p}{I_{pm}} \quad (12)$$

3.3.2. Storage de energía.

Para este proyecto, se decidió utilizar un arreglo de baterías, un regulador de carga, y, un inversor.

La corriente máxima del regulador (I_{REG}) de 25,63 A, se calculó a partir de la corriente de corto circuito (I_{sc}) de los módulos PV, y, del número de módulos paneles, considerando un factor de sobredimensionamiento, tal como lo muestra la ecuación (13).

$$I_{REG} = I_{sc} \times N_p \times \text{factor de sobredimensionamiento} \quad (13)$$

Considerando que la tensión nominal del regulador (V_{REG}), es la misma de los módulos PV, se escogió el regulador Morningstar ProStar30M, cuyas características más importantes se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Características técnicas del regulador

Tensión nominal	24 V
Corriente máxima	30 A
Temperatura de servicio	-40°C a + 60°C
Peso	0,34 kg
Autoconsumo	-

Fuente: Realizado por autores

Para calcular la capacidad requerida en el inversor, se determina la carga pico del sistema en DC, en este caso 1600W. Considerando una potencial real de energía en el sistema, se decidió utilizar como referencia 2000W. El inversor que cumple con las exigencias establecidas, es el EXMORK 2000W, cuyas características técnicas se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Características técnicas del inversor.

Modelo	Exmork
Potencia de Salida	2000W
Factor de potencia	0,9
Eficiencia óptima	85%
Frecuencia de salida	60Hz +/- 0,5%
Voltaje de salida	120 VAC +/- 0,5%
Entrada de tensión directa	24 VDC
Salida de onda	Onda sinusoidal

Fuente: Realizado por Autores

Para determinar la reserva de energía requerida por el sistema, se calcula la capacidad nominal de la batería (C_{nb}), considerando la carga de corriente corregida y los días de autonomía del sistema (ver expresión 14). La C_{nb} se estimó en 96 Ah, considerando una autonomía de 1 día.

$$C_{nb} = I_{cda} \times \text{días de reserva} \quad (14)$$

La capacidad corregida del banco de baterías (C_{nbc}) se aproximó en 120 Ah, considerando una profundidad de descarga de la batería de 0,15 (ver expresión 8).

$$C_{nbc} = \frac{C_{nb}}{\text{profundidad de descarga}} \quad (15)$$

El número de baterías requeridas, en un arreglo paralelo, (A_{Bp}) se determinó considerando la capacidad corregida del banco de baterías y la capacidad nominal de la batería. Para las baterías MILLENIUM utilizadas en este proyecto, la capacidad nominal es de 115 Ah. Por lo tanto, se requiere de 1 batería (ver ecuación 16).

$$A_{Bp} = \frac{C_{nbc}}{C_{nb}} \quad (16)$$

Considerando que la tensión nominal del SPV es de 24 VDC, y, que la tensión de la batería es de 12V, se requiere entonces de un arreglo en serie de al menos 2 baterías.

En la Tabla 3.5, se resume los componentes requeridos para el SPV de iluminación interior.

Tabla 3.5 Resumen de los componentes requeridos para el SPV de iluminación interior.

Carga total en AC		1600 W/día
Carga total en DC		1920 W/día
Tensión del sistema		24Vdc
Subsistema de captación de energía		Modelo: SIMAX
		Potencia: 190 Wp
		Número de paneles: 4
Subsistema de storage de energía	Regulador	Modelo: ProStar 30M
		Tensión nominal: 24Vdc
		Corriente Máxima: 30A
	Inversor	Modelo: EXMORK
		Potencia: 2000W
		Vac/f: 120Vac/60Hz
	Baterías	Modelo: MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah
		Número de baterías: 2

Fuente: Realizado por Autores

3.3.3. Emplazamiento final de los módulos PV.

El emplazamiento final de los módulos PV en la cubierta de la vivienda, dependerá de la carga estructural que representen.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de los módulos seleccionados, estos tienen un área equivalente de 1,28 m², por lo que los 4 módulos requeridos representan un área total de 5,11 m². Considerando los 14 Kg de peso de cada módulo, entonces se tiene una carga total de 62 Kg. Finalmente, la carga estructural es del orden de 12,14 Kg/m², que por información del propietario de la vivienda, son fácilmente asumibles por la estructura.

La Figura 3.3 muestra el emplazamiento final de los módulos PV en la cubierta de la vivienda, en correspondencia a los criterios de montaje de la Norma Ecuatoriana NEC-11 sobre energías renovables.

Los módulos PV se conectan entre sí en paralelo. Los cables de interconexión se dirigen, a través de una canaleta, a un tablero de distribución, cuidando que la longitud del recorrido sea mínima, a fin de reducir las pérdidas en conducción.



Figura 3.3 Emplazamiento de los módulos PV en la cubierta de la vivienda
Fuente: Diseño de los autores

3.3.4. Cableado eléctrico.

El tipo de cable para conectar los paneles, la batería, el controlador de carga, el inversor, y, el tablero de distribución, se seleccionó de acuerdo a los requerimientos eléctricos de ampacidad, caída de voltaje, y, seguridad [11], [12]. Se utilizó también la tabla de caída de tensión sugerida por Green Empowerment [13], en busca de garantizar que la caída de tensión no sea mayor al 3%.

Como información preliminar para la selección, se estableció que los paneles dispuestos en paralelo proporcionan una corriente pico de 23,73 A a un voltaje de 24 V, y, que los paneles y el controlador de carga están a más o menos 6 m de distancia. En estas

condiciones, considerando pérdidas de voltaje menores al 3%, se utilizó la tabla sugerida por Green Empowerment [13] para seleccionar el conductor, escogiendo uno tipo AWG 8.

La corriente a circular entre el tablero de distribución y los interruptores, en una longitud de 20 m, se aproximó en 1 A, con lo cual el conductor seleccionado es del tipo AWG 14.

Bajo el mismo principio, las lámparas LFC se conectarán con un conector AWG 14, seleccionado para una corriente de 1A y una distancia total de 33m.

Las tomas corrientes se conectarán con cable AWG 10, para un voltaje de 110V, en correspondencia a los criterios de montaje de la Norma Ecuatoriana NEC-11 sobre energías renovables.

Para identificar los diversos conductores, se adaptó el código de colores previsto en la norma NOM-001-SEDE-2005 [14], de tal manera que:

- Utilizar cables sólidos AWG 8, color naranja para el positivo y celeste para el negativo, en la conexión de los paneles fotovoltaicos.
- Utilizar cable de hilos AWG 10 color rojo para fase y gris para neutro.
- Utilizar cables sólidos AWG 14, color gris para el neutro y azul para la fase.
- Utilizar cable verde AWG14 para la conexión entre las lámparas, y, conexión a tierra.

3.3.5. Tablero de control.

El tablero de control propuesto, permite centralizar la conexión de los módulos de storage y de conmutación (ver Figura 3.4).

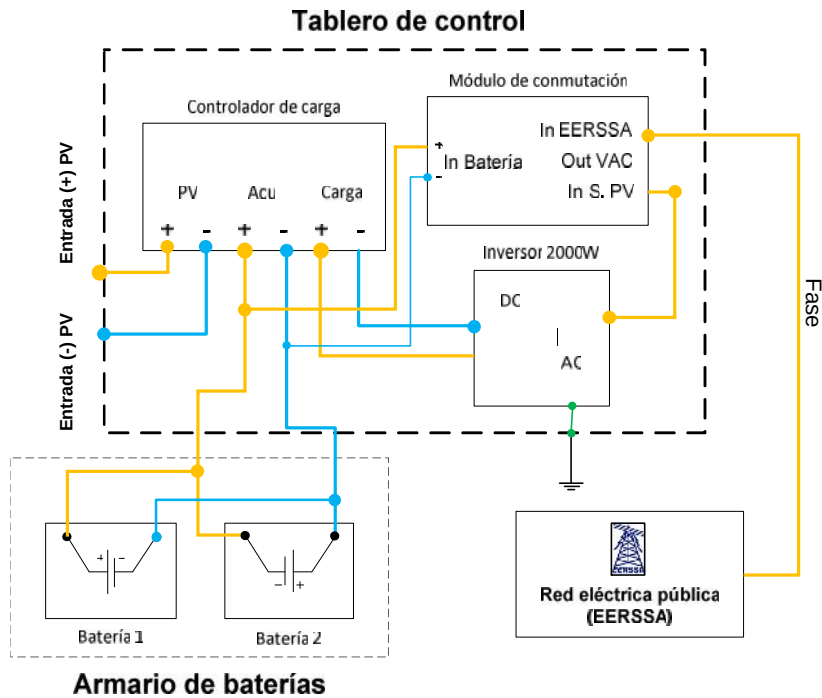


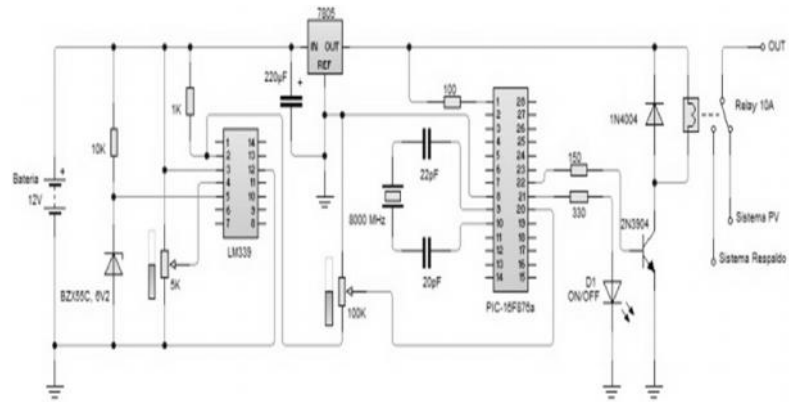
Figura 3.4 Esquema eléctrico del tablero de control.
Fuente: Diseño de autores

El módulo de conmutación apoya la provisión constante e interrumpida de energía al bloque de iluminación. Para este proyecto, se reutilizó un módulo de conmutación diseñado en la SEE del DCCE con anterioridad. Desde la perspectiva del control automático, el módulo responde a la variable “nivel de energía disponible en las baterías”, que caracteriza al módulo de storage del sistema (ver Figura 3.5) [15].

La lógica de operación propuesta para el módulo de conmutación, opera en régimen automático.

En una primera etapa, se monitorea el nivel de voltaje en los bornes de las baterías del módulo de storage. Un descenso en el nivel más allá de lo permitido, emite una señal que activa la segunda etapa.

En la segunda etapa, un temporizador crea un delay en la activación de un relé, que redirige la alimentación del tablero de protección y del módulo de iluminación, hacia el módulo de la red pública eléctrica EERSSA.



(a)



(b)

Figura 3.5 Módulo de conmutación a utilizar. a) esquema eléctrico, b) implementación física.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/154206606/implementacion-de-un-sistema-hibrido-de-provision-de-energia-para-una-isla-experimental-ubicada-en-el-Campus-San-Cayetano-de-la-UTPL>

3.3.6. Tablero de distribución.

El tablero de distribución centraliza la activación y protección de cada uno de los circuitos del sistema [12]. El esquema eléctrico del tablero se muestra en la Figura 3.6. De acuerdo a los lineamientos descritos en [8], para la protección se seleccionó breakers de 15A.

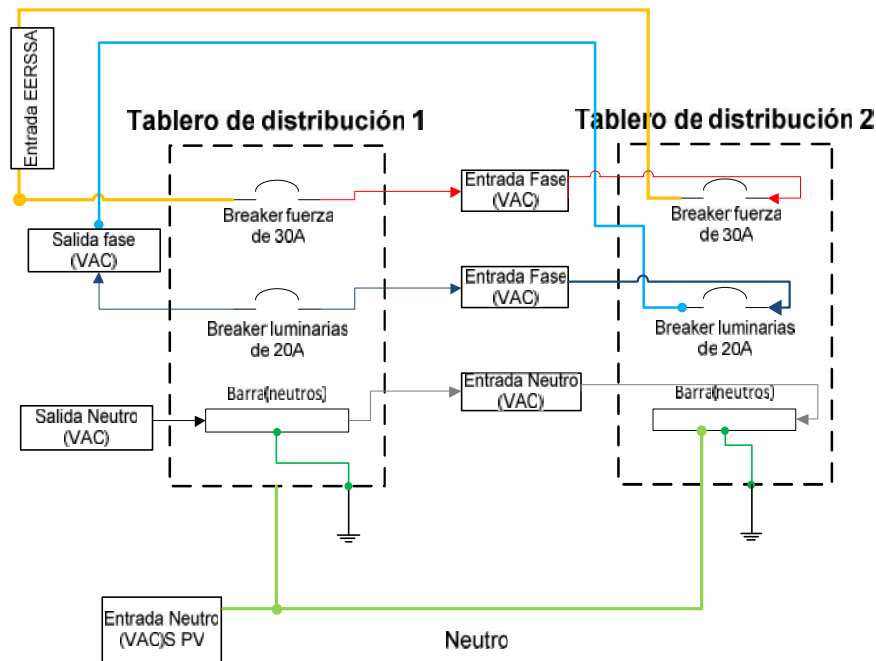


Figura 3.6. Esquema eléctrico del tablero de distribución y de protección.
Fuente: diseño de autores

3.3.7. Conexión de los tableros a tierra.

El aterrizaje o conexión a tierra pretende evitar tensiones peligrosas en las partes metálicas o conductoras de cualquier objeto, que no están diseñadas para conducir corriente en condiciones normales. Estas tensiones pueden aparecer por contacto con conductores vivos, o, por otras causas, como inducción eléctrica [12].

Para protección de sobrecorriente, el cable de tierra se conecta con el neutro, mediante un puente de unión. Esto permite que, al presentarse una falla a tierra, se produzca un cortocircuito que haga operar el dispositivo de protección del circuito.

3.3.8. Conexión de los tableros a tierra.

Para la iluminación, se decidió utilizar 11 lámparas LFC SYLVANIA de 20W. Las luminarias se conectarán con cable AWG #14, en correspondencia a la norma ecuatoriana

NEC-11 de energías renovables [11], de acuerdo al esquema de conexión mostrado en la Figura 3.7.

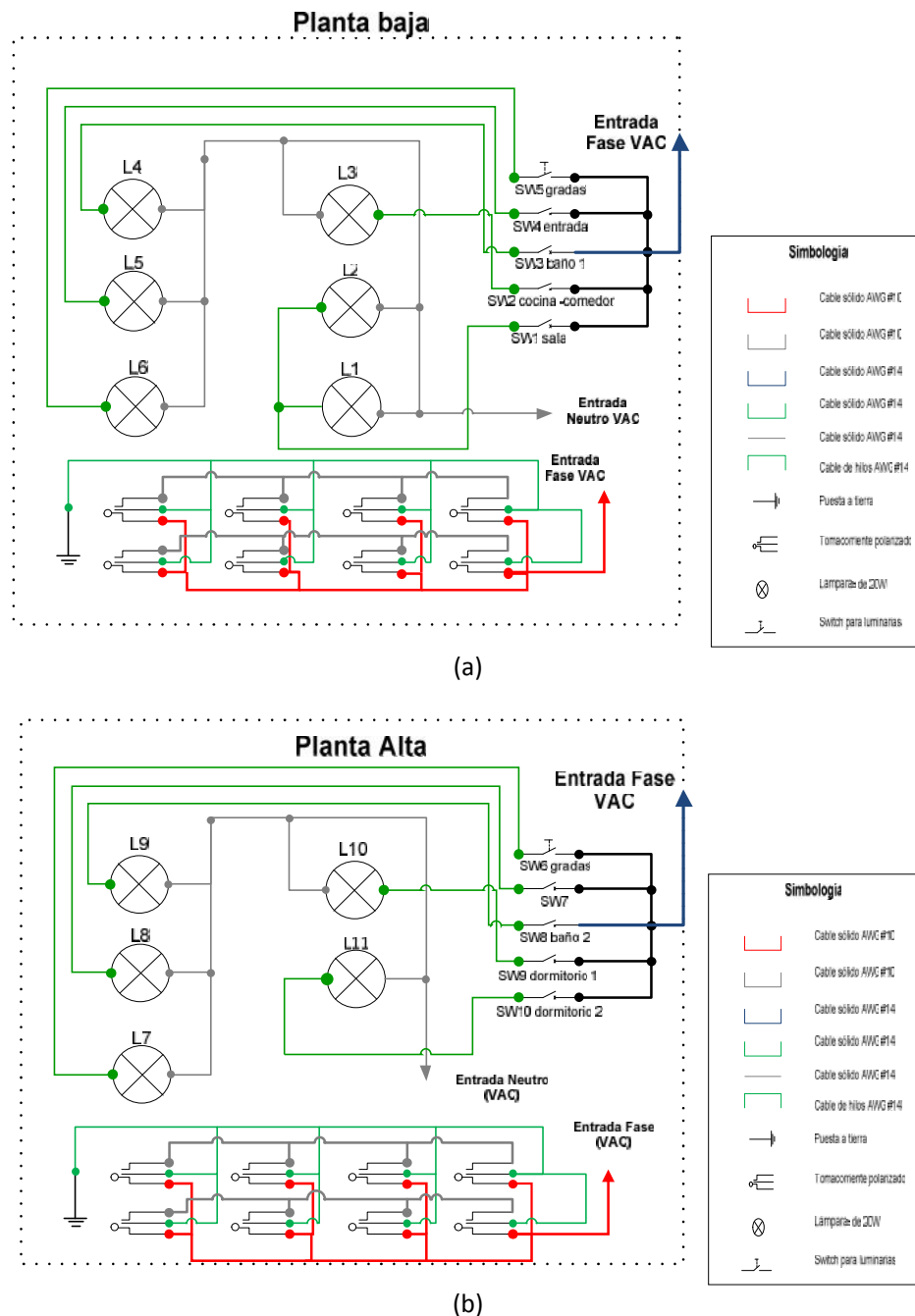


Figura 3.7. Esquema de conexiones del módulo de iluminación a) planta baja y b) planta alta de la vivienda.
Fuente: diseño de autores

En la Figura 3.8 se muestra un esquema general de las conexiones eléctricas del sistema fotovoltaico.

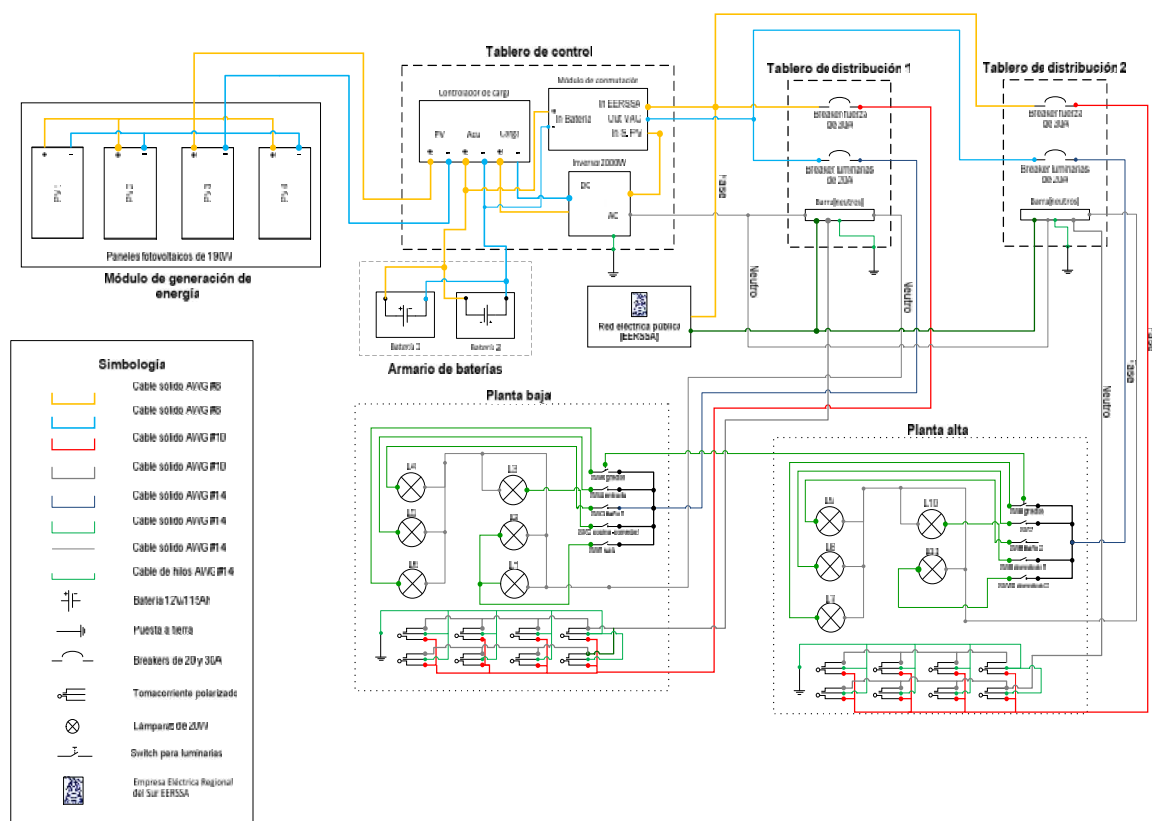


Figura 3.8 Esquema general de las conexiones eléctricas del sistema fotovoltaico para provisión de energía a un módulo de iluminación de una vivienda de campo en la provincia de Loja.
Fuente: diseño de autores.

3.4. Diseño del sistema fotovoltaico para iluminación exterior

El diseño del sistema fotovoltaico para iluminación exterior, se basa en la metodología anteriormente descrita, y, parte de la selección de paneles fotovoltaicos SIMAX 140Wp/12V, cuyas características técnicas se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Principales características técnicas de los módulos PV SIMAX

Características	Módulos PV SIMAX
Tipo de célula	Policristalino
Largo, mm	1482
Ancho, mm	676
Profundidad, mm	50
Peso, Kg	14
Voltaje nominal, V	12
Máxima potencia, W	140
Corriente pico, A	8,25

Fuente: <http://www.proviento.com.ec/>

El sistema de iluminación exterior, se dimensionó para una potencia de 294 W/día. La Tabla 3.7 resume las características finales del sistema.

Tabla 3.7 Resumen de los componentes del sistema fotovoltaico autónomo diseñado. Elaborado por los autores.

Carga total en AC	294 W/día	
Carga total en DC	352,8 W/día	
Tensión del sistema	12 Vdc	
Módulo PV	Modelo: SIMAX	
	Potencia: 140 Wp	
	Número de paneles: 1	
Módulo de storage	Regulador	Modelo: Morningstar Solar Home SHS
		Tensión nominal: 12Vdc
		Corriente máxima: 10 ^a
	Inversor	Modelo:
		Potencia:
		Vac/f:
	Batería	Modelo: MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah
		Número de baterías: 1

Fuente: elaborado por autores

3.5. Cálculo de inversión requerida

La inversión requerida se aproximó considerando rubros tales como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje (ver Tabla 3.8).

Tabla 3.8 Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación.

Descripción de productos	Unidad	Cantidad	Precio unitario, USD	Costo total, USD
Paneles fotovoltaicos, SIMAX 190Wp	u	4	425,60	1702,40
Baterías MILLENIUM, selladas libre de mantenimiento 12V, 115Ah	u	2	302,40	604,80
Controlador de carga Phocos CML 12/24V 10/10A CML10-2.1	u	1	48,50	48,50
Set de conmutación automática y control	u	1	15,00	15,00
Breaker 10 A DC	u	1	13,00	13,00
Varilla de cobre para puesta a tierra, 5/8"	u	1	14,00	14,00
Cable de hilos verde para tierra 1x10 AWG	m	20	0,45	9,00
Canaleta de 2 x 2cm de 3 metros de largo	u	3	3,00	9,00
Caja de breakers	u	2	5,00	10,00
Cable de hilos verde 1x8 AWG	u	10	0,45	4,50
Bombilla LFC SYLVANIA de 20W	u	11	2,00	220,0
Boquillas	u	11	0,50	5,50
Cable conexión entre bombillas LED y batería 1x14 AWG	m	33	0,45	14,85
Misceláneos (grapas, borneras, fusibles, cinta aislante, terminales de cable y todo aquellos que los equipos ofertados requieran según especificaciones técnicas de los mismos.)	u	1	250,0	250,0
Subtotal				2920,55
IVA, 12%				350,46
Imprevistos, 5%				146,02
TOTAL				3417,03

Fuente: diseño de los autores.

CAPÍTULO 4

4. INGENIERÍA DE DETALLE DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA PROVISIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA PARA UNA VIVIENDA DE CAMPO EN LA PROVINCIA DE LOJA

4.1. Introducción

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles, ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas, tanto en zonas urbanas como rurales, con el potencial suficiente.

En el caso de la provincia de Loja, se registra una alta radiación solar aprovechable para la generación de energía eléctrica y para la provisión de agua caliente sanitaria.

Como parte de la iniciativa para conformar una matriz de opciones de provisión de energía a una vivienda de campo en la provincia de Loja, se decidió diseñar un sistema termosolar para provisión de agua caliente sanitaria ACS. En este documento, se describe los resultados obtenidos en la fase de ingeniería de detalle.

4.2. Diseño preliminar del sistema de provisión de ACS

4.2.1. Provisión de ACS a través de colectores solares

La provisión de ACS se caracteriza por una alta fiabilidad y el menor coste posible. Para provisión de ACS, se utiliza diferentes tecnologías, entre las que, un lugar especial, tiene el uso de colectores solares, que aprovechan la energía solar térmica.

Los sistemas solar térmicos para la provisión de ACS, reducen la demanda de energía entre el 50 y el 100% [16], no contaminan en su operación, son de montaje sencillo, y, requieren de mantenimiento mínimo. Estos sistemas, con los complementos correctos, pueden proveer de ACS 24h al día [17], y, tienen una vida útil estimada de 20 años.

4.2.2. Requerimientos generales para el diseño del sistema

A través de una entrevista personal con el propietario de la vivienda en la que se desea intervenir, se estableció que el número de ocupantes oscilará entre 7 y 9 personas, con una ocupación real en días feriados y en vacaciones, y, con una temperatura deseada entre 45 y 60°C.

Considerando las características técnicas de los sistemas disponibles en el mercado local, se decidió requerir 300 litros de capacidad, y, el uso de tubería PVC de corta longitud, a fin de evitar las pérdidas térmicas.

4.2.3. Arquitectura propuesta para el sistema

A partir de las características del agua de la red pública en el sector, de los requerimientos de mantenimiento del sistema, y, de la necesidad de contar con una opción para provisión auxiliar, se propuso diseñar el sistema de acuerdo a la arquitectura mostrada en la Figura 4.1.

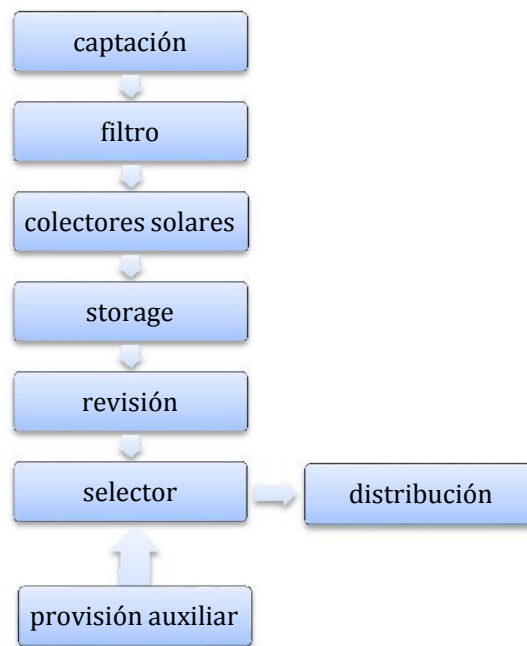


Figura 4.1. Arquitectura general del sistema de provisión de ACS a implementar.
Fuente: diseño de los autores

El agua proveniente de la red pública, ingresa al sistema a través del nodo de captación. Los sólidos en suspensión son retenidos en un filtro estándar lavable de sedimentos (de 80 micras).

En los colectores solares, el agua se calienta y se envía al storage, conformado por un tanque de acero inoxidable con el debido aislamiento térmico, para evitar que el calor

escape. La energía requerida para el flujo del agua, proviene del principio de termosifón por el que opera el sistema. En esta etapa, el sistema se complementa con recursos electromecánicos suficientes para posibilitar la revisión del desempeño del sistema y el control de calidad del agua almacenada.

Un selector mecánico, permite alimentar la red de distribución de ACS en la vivienda, desde el storage de ACS o desde una fuente auxiliar de ACS, como un calefón.

4.3. Ingeniería de detalle del sistema

En esta etapa del proyecto, se seleccionó la metodología de evaluación del desempeño de los colectores solares, se eligió y evaluó el desempeño de los colectores solares, y, se esquematizó la red de provisión de ACS a la vivienda.

4.3.1. Sobre la metodología de evaluación del desempeño del sistema

Para evaluar el desempeño del sistema se decidió utilizar las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 11 / Energías Renovables [18]. La aplicación del método F-Chart, permitió calcular la cobertura solar del sistema, en relación a la energía necesaria para cubrir las cargas térmicas.

El método F-Chart parte de la determinación de la carga calorífica, definida como la cantidad de calor mensual que se necesita para calentar el agua (ver ecuación 17) [18]:

$$Q_a = C_e * C * N * (t_{ac} - t_r) \quad (17)$$

En dónde,

Q_a ,	es la carga calorífica mensual, J/mes
C_e ,	es el calor específico del líquido, 4187 J/(KgA°C) para el agua
C ,	es el consumo diario de ACS, l/día.
N ,	es el número de días al mes en los que opera el sistema
t_{ac} ,	es la temperatura del agua caliente de acumulación, °C.
t_r ,	es la temperatura del agua en la red pública de distribución, °C.

El parámetro D_1 , expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes (ver expresión 18) [18].

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el colector } (E_a)}{Q_a} \quad (18)$$

La energía solar absorbida por el captador, está dada por la ecuación (19) [3]:

$$E_a = S_c * F'(\tau\alpha) * R_1 * N \quad (19)$$

En dónde,

- E_a , es la energía solar absorbida, J.
- S_c , es la superficie del captador, m^2 .
- R_1 , es la radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área, KJ/m^2
- N , es el número de días al mes en los que opera el sistema.
- $F'(\tau\alpha)$, es un factor adimensional calculado a través de la ecuación (20).

$$F'(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] F_r' / F_r \quad (20)$$

En dónde,

- $F_r(\tau\alpha)_n$, es el factor de eficiencia óptica del captador,
- $\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$, es el modificador del ángulo de incidencia, con un valor de 0,96 para superficies transparentes sencillas, y, de 0,94 para superficies transparentes dobles [3].
- F_r' / F_r , es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador, cuyo valor recomendado es 0,95 [18].

La ecuación (21) expresa la relación entre las pérdidas de energía en el colector (a una determinada temperatura) y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes [18].

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el colector } (E_p)}{Q_a} \quad (21)$$

La energía que se pierde en el colector E_p , está dada por la ecuación (22):

$$E_p = S_c * F'_r U_L * (100 - t_n) * \Delta_t * K_1 * K_2 \quad (22)$$

En dónde,

- S_c , es la superficie del captador, m^2
 t_n , es la temperatura media mensual del ambiente, $^{\circ}C$
 Δ_t , es el periodo de tiempo en el cual se observan las pérdidas, s.
 K_1 , es el factor de corrección por almacenamiento.
 K_2 , es el factor de corrección para ACS, que relaciona la temperatura mínima de ACS, la temperatura del agua en la red pública, y, la temperatura media mensual del ambiente.
 $F'_r U_L$, es el coeficiente de pérdidas, definido por (23) [18]:

$$F'_r U_L = F_r U_L (F'_r / F_r) \quad (23)$$

En dónde,

- $F_r U_L$, es la pendiente de la curva característica del colector (coeficiente global de pérdidas del captador).
 F'_r / F_r , es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador, cuyo valor se recomienda en 0,95 [18].

La energía útil captada en un mes Q_m , se determina como el producto entre el parámetro f y la carga calorífica mensual (ver expresión 24) [18].

$$Q_m = f * Q_a \quad (24)$$

En dónde,

- Q_a , es la carga calorífica mensual de ACS, J/mes.
 f , es la fracción de carga calorífica mensual que se transforma en energía solar, calculada a través de la ecuación (25):

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_1^2 + 0,0215D_2^3 \quad (25)$$

La relación entre la sumatoria de las coberturas solares mensuales, y, la sumatoria de cargas caloríficas, determina la cobertura solar anual del colector (ver ecuación 26) [18].

$$cobertura\ solar\ anual = \frac{\sum_{m=1}^{U=12} Q_m}{\sum_{a=1}^{a=12} Q_a} \quad (26)$$

4.3.2. Selección de los colectores solares

La Tabla 4.1 resume las características técnicas de algunos de los colectores solares disponibles en el mercado, que cumplen con los requerimientos establecidos para el sistema.

Tabla 4.1. Análisis comparativo de las características de algunos colectores solares disponibles en el mercado, y, potencialmente aplicables en este proyecto.

Modelo	DAITSU	HEAT PIPE	CHISOL
Tipo de panel térmico	Placa de tubos de vacío	Tubos de vacío	Tubos de vacío
Superficie (m ²)	4,00	3,56	4,18
N° de tubos	25	26	35
Volumen total (Lt)	300	300	300
Eficiencia	0,78	0,81	0,84
Peso (Kg)	40	64	64
Temperatura	60 a 90 °C	60 a 90 °C	60 a 90 °C
Precio (USD)	1400	1600	1100

Fuente: diseño de los autores

El análisis de las características permitió seleccionar los colectores solares modelo CHISOL, de procedencia taiwanesa, y, distribuidos en Ecuador por la empresa ECENERGY. Estos colectores presentan la mayor eficiencia y el menor costo (ver Figura 4.2). Adicionalmente, el modelo posee un controlador digital ATM, un sensor de nivel y temperatura, una válvula selenoide, y, una pantalla digital, lo que será utilizado en el nodo de control del sistema [19].



Figura 4.2. Colector solar CHISOL.

Fuente: <http://www.panelessolares.ec/productos.html>

4.3.3. Evaluación del desempeño de los colectores: ganancia y pérdidas

Los cálculos requeridos en la metodología, para determinar la ganancia y las pérdidas en el colector solar, se realizaron utilizando una hoja de Excel (ver Figura 4.3). Los valores numéricos de las variables, se obtuvieron de tablas referenciales, del Atlas Solar Ecuatoriano, y, de las características técnicas del colector seleccionado (ver Tabla 4.2 y Tabla 4.3) [20], [21], [22]. Como resultado final, se obtuvo una gráfica del desempeño anual, que permite la estimación temprana del desempeño del colector solar.

Tabla 4.2. Radiación solar en la zona de Loja.

Meses	Nivel de radiación (Wh/m ² /día)
Enero	4750
Febrero	4925
Marzo	4575
Abril	4050
Mayo	4275
Junio	4400
Julio	4575
Agosto	5100
Septiembre	5275
Octubre	5450
Noviembre	5450
Diciembre	5275
Promedio Actual	4841,6

Fuente: <http://www.afta-asociacion.com/wp-content/uploads/Cap-4-Dimensionado-de-Instalaciones.pdf>

Tabla 4.3. Variables utilizadas para aplicar el método F-Chart

Parámetro	Valor
Temperatura de agua red publica	17°C
Temperatura de ACS	60°C
Constante de absorbanza-transmitida	0,75
Factor de utilización	7
Factor de eficiencia del intercambiador de calor	1
Calor específico del liquido	4187 J*Kg ⁻¹ *°K ⁻¹

Fuente: elaborada por autores.

La metodología establece que el valor mínimo del parámetro f calculado (ver Figura 4.4), debe ser mínimo igual a 0.84 [19]. Los resultados obtenidos muestran que el parámetro f registra su mínimo en el mes de noviembre, con un valor de 0.886, por encima del mínimo establecido. Con esto, se confirma la viabilidad del uso del colector seleccionado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	METODO F-CHART																					
2						MESES	DIAS	SEGUNDO	Consumo	H _h Whm2/d	H _h Whm2/m ²	T _a (C)	FU	T _o COL	B	Delta T	Xlm2	T _a	T _o	Ylm2	Area	
3		Superficie util del colector	S(m2)	4,18		Enero	31	2678400	1,67E+08	4750	17100000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00689	4,18	
4		Factor de eficacia colector	f	0,84		Febrero	28	2418200	1,5E+08	4325	17730000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00791	4,18	
5		Perdidas de colector	u	0,3		Marzo	31	2678400	1,67E+08	4575	16470000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00664	4,18	
6		Factor de eficacia del intercambiador	B	1		Abril	30	2532000	1,62E+08	4050	14580000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00607	4,18	
7		Temperatura referencial de trabajo	T _{ref}	60		Mayo	31	2678400	1,67E+08	4275	15390000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,0062	4,18	
8		Temperatura Ambiente	T _a	17		Junio	30	2532000	1,62E+08	4400	15840000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,0066	4,18	
9		Producto de absorptancia transmitido	T _o	0,75		Julio	31	2678400	1,67E+08	4575	16470000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00664	4,18	
10		Media mensual de irradiacion total	H	4800		Agosto	31	2678400	1,67E+08	5100	18360000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,0074	4,18	
11		Numero de dias al mes	N	30		Septiembre	30	2532000	1,62E+08	5275	18990000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00791	4,18	
12		Caudal	q	300		Octubre	31	2678400	1,67E+08	5450	18620000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00791	4,18	
13		Consumo energetico	L	54012300		Noviembre	30	2532000	1,62E+08	5450	18620000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00617	4,18	
14		Masa	m	300		Diciembre	31	2678400	1,67E+08	5275	18990000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00766	4,18	
15		Calor especifico	Ce	4187																		
16		Conductividad de insulacion	k	0,1481461																		
17		Tg teta		13,5																		
18		Factor de utilizacion	FU	7																		
19																						
20																						
21																						
22	RESULTADOS																					
23		Meses	X	Y		Parametro f																
24		Enero	2,01283	0,0288153		0,340816821																
25		Febrero	2,01283	0,033078		0,8375937374																
26		Marzo	2,01283	0,0277537		0,951594234																
27		Abril	2,01283	0,0253878		0,975632191																
28		Mayo	2,01283	0,0259338		0,970082553																
29		Junio	2,01283	0,0275818		0,953339663																
30		Julio	2,01283	0,0277537		0,951594234																
31		Agosto	2,01283	0,0309385		0,915278435																
32		Septiembre	2,01283	0,0330868		0,897710755																
33		Octubre	2,01283	0,0330617		0,89776196																
34		Noviembre	2,01283	0,0341638		0,886802517																
35		Diciembre	2,01283	0,0320001		0,90851746																

Figura 4.3. Hoja Excel implementada para aplicar el método F-Chart, en la evaluación del desempeño del colector solar.

Fuente: diseño de los autores

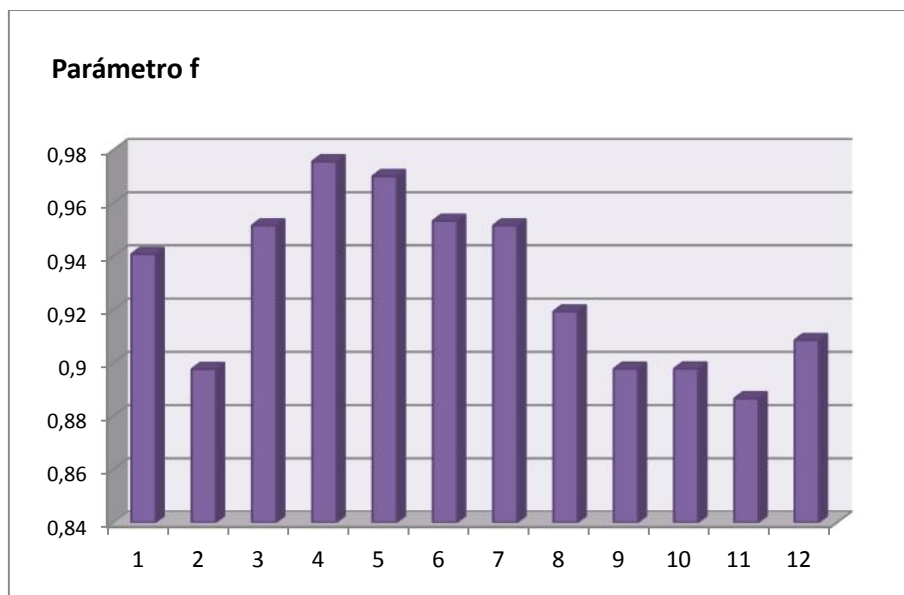


Figura 4.4. Resultado de la evaluación del desempeño del colector solar CHISOL, utilizando el método F-Chart. Significado del parámetro f para cada uno de los 12 meses del año

Fuente: diseño de los autores

4.3.4. Diseño de la red de ACS

El colector se instalará en la parte posterior de la vivienda (ver Figura 4.5), sobre una base metálica que permita que la superficie útil sea radiada por el Sol, a la vez que se establece una zona de seguridad respecto a manipulación del sistema.



Figura 4.5. Emplazamiento del colector solar en la parte posterior de la vivienda.
Fuente: diseño de los autores

El diámetro de las tuberías a utilizar, se seleccionará en función de las recomendaciones explicadas en la bibliografía (ver Tabla 4.4) [23].

Tabla 4.4. Diámetro nominal del sub-ramal en la vivienda.

Aparato o punto de consumo	Diámetro del sub-ramal en pulgadas
Lavatorio	1/2
Ducha	1/2
Lavador de cocina	1/2
Vertedero	3/4

Fuente: <http://www.afta-asociacion.com/wp-content/uploads/Cap-4-Dimensionado-de-Instalaciones.pdf>

Por otra parte, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 373:2010, describe el uso de colores para diferenciar los ramales de la tubería [24]:

- color azul para la red de agua fría de ½”.
- color azul para la columna de agua potable de ¾”
- color rojo para la red de agua caliente de ½”

La Figura 4.6 muestra el esquema general de la red de provisión de ACS.

4.3.5. Control del abastecimiento secundario de ACS

El abastecimiento secundario debe apoyar a la provisión constante e interrumpida de ACS. En este contexto, se decidió proponer la implementación de un bloque de control (BC), que permita modificar automáticamente la provisión de ACS a la vivienda, ya sea desde el sistema termosolar, o, desde un calefón alimentado por gas licuado de petróleo GLP (ver Figura 4.7).

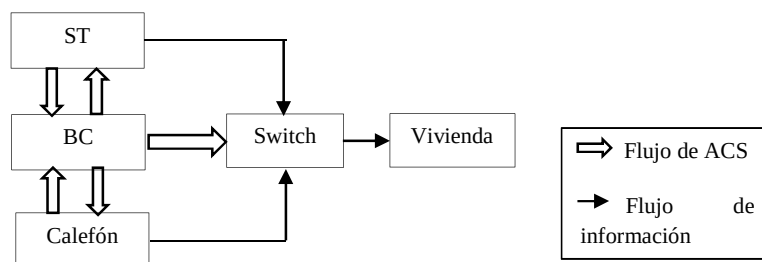


Figura 4.7 Esquema general del abastecimiento secundario de ACS.
Fuente: elaborado por autores.

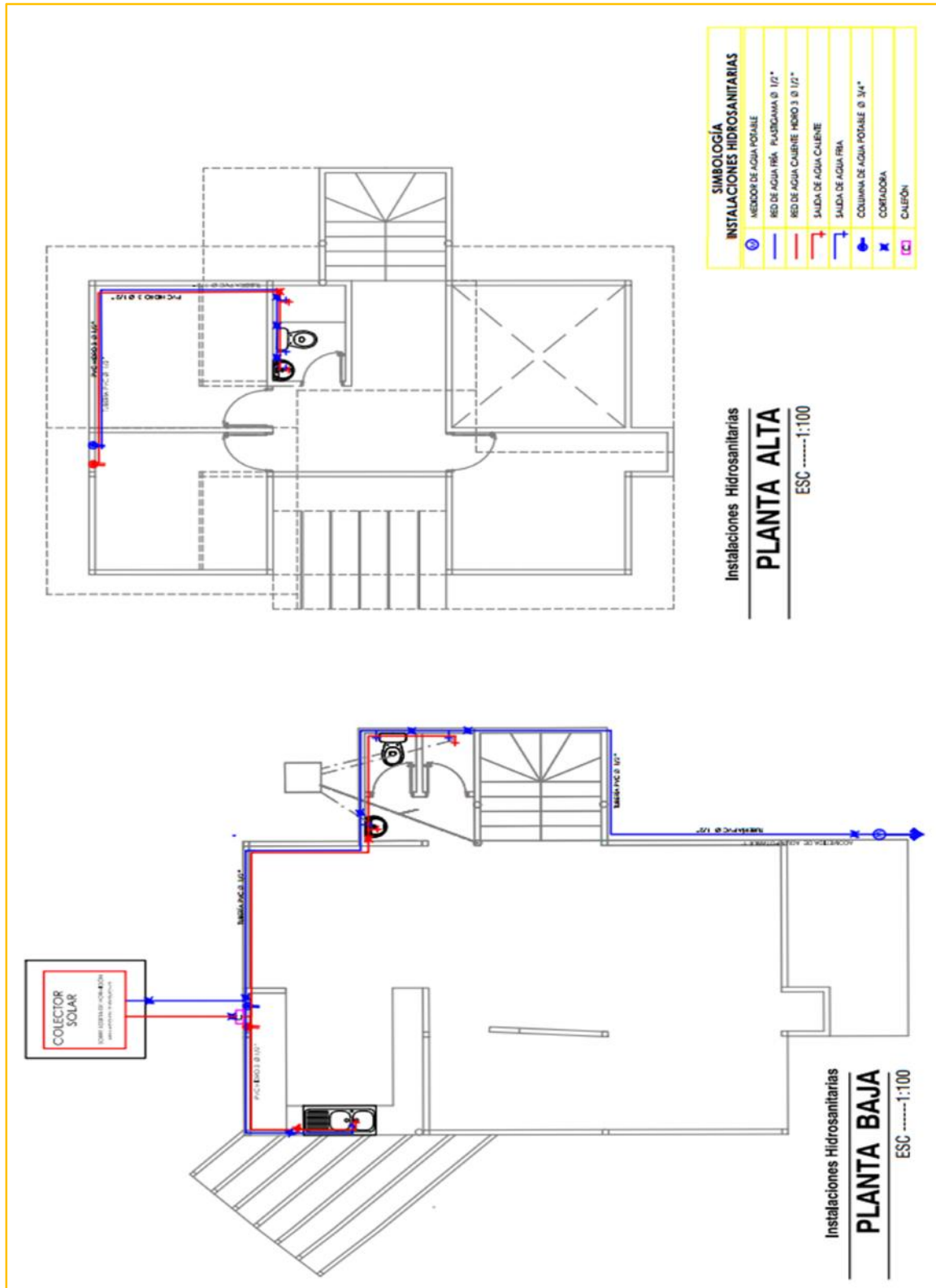


Figura 4.6 Esquema general de conexiones internas de tuberías para provisión de agua caliente sanitaria ACS.

Fuente: diseño de los autores

Para el diseño del BC, se aplicó una metodología estándar: identificación de las variables de entrada y salida del sistema, y, definición del algoritmo de control [25]. La Tabla 4.5 aproxima las variables de entrada y salida identificadas en la operación del BC, mientras que la Tabla 4.6 muestra los implementos y dispositivos requeridos para el funcionamiento del BC.

Tabla 4.5. Variables a gestionar por el bloque de control.

Variables de entrada		
Ítem	Designación	Descripción
1	T-1	Temperatura del agua tomada a la salida del tanque
2	T-2	Temperatura deseada por el usuario
Variables de salida		
1	V-1	Señal de activación de la electroválvula que alimenta la vivienda desde el sistema termosolar
2	V-2	Señal de activación de la electroválvula que alimenta la vivienda desde el calefón

Fuente: realizado por autores

Tabla 4.6. Implementos y dispositivos requeridos en el bloque de control.

Cantidad	Componente	Características requeridas
1	Controlador	Mínimo 2 salidas de relay
		Mínimo una entrada analógica/RTD
		HMI para visualización y configuración de parámetros.
		Entrada digital para establecer como bypass al calefón.
2	Sensores de temperatura	RTDs
		Rango mínimo de medición: 60°C y 90°C
		Acople mecánico NPT ½"
2	Electroválvulas	Acople PT ¾" o ½"
		Soportar temperaturas de hasta 100°C
		Señal de activación DC.
1	Tablero de Control	Mínimo 20x20cm (largo x ancho)
		Metálico

Fuente: realizado por autores

La Tabla 4.7 resume el algoritmo de operación propuesto para el BC, mientras que la Figura 4.8 muestra el Flujograma de operación.

Tabla 4.7. Algoritmo de control propuesto.

Nº	Especificación
1	El usuario define T-2
2	Si T-1 es mayor a T-2, se abre la electroválvula 1 y se cierra la electroválvula 2
3	Si T-2 es menor a T-1, se abre la electroválvula 2 y se cierra la electroválvula 1

Fuente: realizado por autores

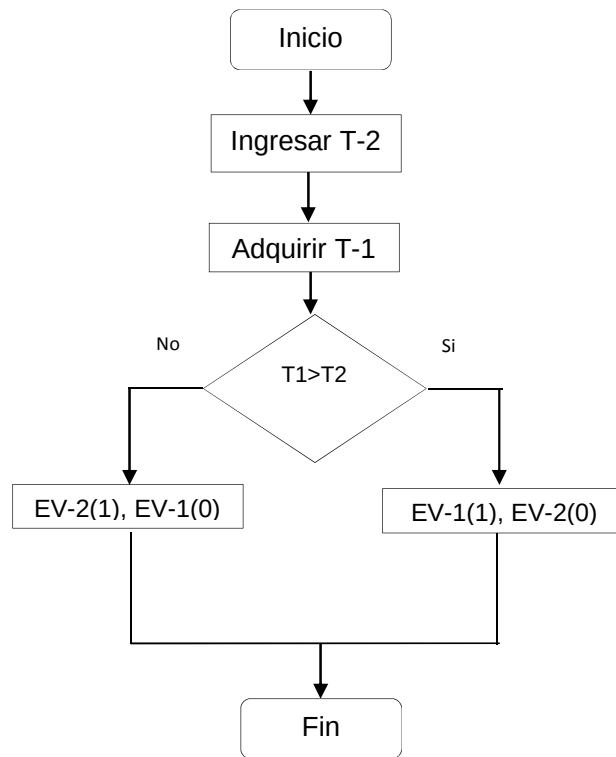


Figura 4.8. Flujograma de operación del BC
Fuente: diseño de los autores

Debido a limitaciones económicas, este BC no fue implementado en la vivienda.

4.3.6. Inversión requerida

La inversión requerida se aproximó considerando rubros tales como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje (ver Tabla 4.8).

Tabla 4.8. Cálculo de inversión requerida.

Descripción de productos	Unidad	Cantidad	Precio unitario, USD	Costo total, USD
Colector Solar CHISOL+ controlador ATM+ Sensor de nivel y temperatura+ bomba de circulación+ válvula de compuerta+ estructura metálica	U	1	1100,00	1100,00
Unión universal	U	1	7,50	7,50
Válvula de retención	u	1	20,00	20,00
Válvula de seguridad	u	1	12,00	12,00
Válvula de obturación 3 vías	u	1	10,00	10,00
Codos plásticos 1"	u	10	0,75	7,50
Aislamientos térmico	u	5	10,00	50,00
Tubería PVC 1/2"	u	5	2,50	12,50
Tubería HIDRO3 1/2"	u	5	3,00	15,00
Tubería PVC 3/4"	u	3	2,75	8,25
Te plásticas 1"	u	5	0,55	2,75
Mano de obra	u	1	200,00	200,00
Base metálica	u	1	300,00	350,00
Calefón Instamatic 26L	u	1	218,00	218,00
Filtro de sedimentos para purificar agua	u	1	20,00	20,00
Misceláneos (grapas, cinta, terminales y todo aquellos que los equipos ofertados requieran según especificaciones técnicas de los mismos.)	u	1	150,00	150,00
Subtotal				2183,25
IVA, 12%				262,02
Imprevistos, 5%				109,16
TOTAL				2554,43

Fuente: diseño de los autores

CONCLUSIONES

- El diseño arquitectónico de viviendas de campo energéticamente sustentables busca aprovechar los recursos naturales de tal modo que, se minimice el impacto ambiental de la construcción y operación de la vivienda.
- Las viviendas de campo diseñadas bajo este paradigma, se construyen con materiales ecológicos, reciclables, recuperables, o, reutilizables; y, son capaces de mantener, producir, y, controlar la energía que requieren para su operación.
- El análisis comparativo de los prototipos existentes en el mercado, sobre la base de los principales parámetros constructivos y operativos que influyen en el consumo de energía, y, considerando la replicabilidad en la provincia de Loja, muestra que el modelo que mejor se adapta a las condiciones de la provincia de Loja es Living Space 21.
- Para dimensionar y preseleccionar los equipos a utilizar en el sistema de provisión de energía fotovoltaica para iluminación de una casa de campo en la provincia de Loja, se utilizó la metodología sugerida por el Consejo Nacional de Electricidad, en el atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica.
- En una casa de campo, la demanda de energía puede variar en función de las costumbres de los ocupantes, y, de las condiciones del clima.
- La demanda total de energía proyectada para la iluminación de la casa de campo es de 4,8 kW/h.
- La radiación solar media en la ciudad de Loja, es de 4050 Wh/m²/día.
- En el marco de este proyecto, para el diseño e implementación del sistema requerido, se decidió adoptar una arquitectura en la que módulos PV individuales, alimentan la iluminación interior, exterior, y, monumental, respaldados por la red pública a través de módulos individuales de transferencia.
- Para el dimensionamiento de equipos y dispositivos, se utilizó la metodología sugerida en el Atlas Solar del Ecuador con fines de generación, editado por el CONELEC.
- La inversión requerida para el montaje del sistema de iluminación, se aproximó considerando rubros tales como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje, y, se calculó en alrededor de los USD 3500.
- Se evaluó el desempeño de los colectores solares seleccionados a través del método F-Chart, recomendado en la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 11 / Energías Renovables.
- La inversión requerida para el montaje se aproximó considerando rubros tales como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje, y, se calculó en alrededor de los USD 2,600.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Era del networknomics. [Online]. Disponible en: <http://www.networknomics.com/bienvenidos-a-la-era-networknomics/>
- [2] La generación C. [Online]. Disponible en: <http://www.arcauniversal.com.ar/la-generacion-c-cambiara-el-mundo-del-consumo>
- [3] ALLPE. Medio Ambiente. [Online]. Disponible en: <http://www.medioambiente.org/2012/04/una-casa-sostenible-ahorra-el-80-de.html>
- [4] The energy plus home. Villa akarp. [Online]. Disponible en: <http://www.ecomagination.com/meet-the-energy-plus-home-villa-akarp-ups-the-ante>
- [5] Casa Ecológica, Sustentable y de Bajo Costo. Casa aqua. [Online]. Disponible en: <http://www.dforceblog.com/2010/05/05/casa-ecologica-sustentable-y-de-bajo-costo/>
- [6] La innovación energética. Casa alemana. [Online]. Disponible en: http://mexiko.ahk.de/fileadmin/ahk_mexiko/Dokumente/Casa_Alemana_Broschuere_S_PAN_Webversion.pdf
- [7] Arquitectura de casas. Living Space 21. [Online]. Disponible en: <http://arquitecturadecasas.blogspot.com/2008/09/lote-pequeo-casa-sustentable.html>
- [8] KEETSA. The solaleya pearl house offers sustainable energy [Online]. Disponible en: <http://keetsa.com/blog/science-and-technology/solar-power/the-solaleya-pearl-house-offers-sustainable-energy/>
- [9] Suburban Loft House Plan 02-001. [Online]. Disponible en: <http://www.freegreen.com/Free-House-Plan-Overview-New/4/Suburban-Loft-House-Plan.aspx>
- [10] CONELEC. Consejo Nacional de Electricidad. "Atlas Solar del Ecuador". [Online]: Disponible en: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1792>
- [11] Norma Ecuatoriana NEC-11 de energías renovables. Disponible en <<http://www.cimeg.org.ec/normasnec/NEC2011-CAP.14> ENERGIAS%20RENOVABLES-021412.pdf> [consulta septiembre 2013]
- [12] "Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión". [Online]: Disponible en: <<http://www.uv.mx/personal/jdominguez/files/2012/10/Manual-de-Instalaciones-Electricas-en-BT-2009.pdf>> [consulta septiembre 2013]
- [13] "Tabla de caída de tensión de Green Empowerment". [Online]: Disponible en: <<http://cenicasol.chica.org.ni/wp-content/uploads/2012/09/Voltage-Drop-Sheets-Espanol.xls>>
- [14] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización), Secretaria de Energía, México.
- [15] Implementación del sistema híbrido de provisión de energía para una isla experimental ubicada en el Campus San Cayetano de la UTPL. [Online]: Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/154206606/implementacion-de-un-sistema-hibrido-de-provision-de-energia-para-una-isla-experimental-ubicada-en-el-Campus-San-Cayetano-de-la-UTPL>
- [16] En línea: SUSTENTATOR: Calentando agua con el sol, energía solar térmica. Consultada: 10/05/2013, tomada de: <http://sustentator.com/blog-es/blog/2012/10/03/calentando-agua-con-el-sol-energia-solar-termica/>
- [17] En línea: Energy SPAIN: Energía solar térmica para calentar agua y calentadores de agua solares. Consultada: 10/05/2013, tomada de: <http://www.energy-spain.com/energia-solar/calentar-agua-solar>
- [18] Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10, parte 14-1 ENERGIA RENOVABLES
- [19] Calentador de Agua CHISOL Ficha técnica. [Online]: Disponible en: <http://www.panelessolares.ec/productos.html>
- [20] En línea: Instalaciones solares para producción de agua caliente, Consultada: 31/07/2013, tomada de:

- http://www.almassera.es/sites/almassera.portalesmunicipales.es/files/documentos/ordenanzasNf/solares_C.pdf
- [21] En línea: Eficiencia y Ahorro Energético: Guía técnica de agua caliente sanitaria. Consultada: 13/08/2013, tomada de: Central <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/rite/reconocidos/reconocidos/acs.pdf>
- [22] En línea: CONELEC: Atlas Solar del Ecuador con fines de: Generación Eléctrica. Consultada: 15/08/2013, tomada de http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf
- [23] En línea: Dimensionado de las instalaciones. Aspectos generales del dimensionado. Consultada: 05/11/2013, tomada de: <http://www.afta-asociacion.com/wp-content/uploads/Cap-4-Dimensionado-de-Instalaciones.pdf>
- [24] En línea: Norma Técnica Ecuatoriana: NTE INEN 1 373:2010 Segunda revisión. Consultada: 15/08/2013, tomada de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1373.2010.pdf>
- [25] En línea: Controlador Digital ATM. Especificaciones técnicas y programación. Consultada: 10/04/2014, tomada de <http://www.solenergy.cl/manuales/CONTROLADOR-DIGITAL-ATM.pdf>

1 ANEXO 1

1.1 PAPER: Diseño de sistemas de provisión de energía para una vivienda de campo en la provincia de Loja

Diseño de sistemas para el aprovechamiento de ERNC en la provisión de energía a una vivienda de campo en la provincia de Loja

Silvana E. Ortega R.^{#1}, Jorge L. Jaramillo P.^{#2}

^{#1}Profesional en formación, Universidad Técnica Particular de Loja

^{#2}Docente SEE DCCE, Universidad Técnica Particular de Loja

Loja, Ecuador

1seortega@utpl.edu.ec, 2jorgeluis@utpl.edu.ec

Abstract— Se describe el proceso de diseño de un sistema solar-fotovoltaico para alimentación de un módulo de iluminación y de un sistema solar-térmico para provisión de agua caliente sanitaria para una vivienda de campo en la provincia de Loja.

Índice de términos— energía, vivienda sustentable, energía solar fotovoltaica, energía solar térmica.

I. INTRODUCCIÓN

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles, ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas, tanto en zonas urbanas como rurales, con el potencial suficiente.

En el caso de la provincia de Loja, se registra una alta radiación solar aprovechable para la generación de energía eléctrica y para la provisión de agua caliente sanitaria.

En el presente trabajo, se describe el diseño de sistemas para el aprovechamiento de ERNC en la provisión de energía para una vivienda de campo, en la provincia de Loja. Primeramente, se analiza el estado del arte, en busca de definir los requerimientos mínimos que debería cumplir una iniciativa de diseño propio. Para cumplir los requerimientos identificados, se analiza el desempeño de varias arquitecturas posibles de diseño, entre las que se selecciona la opción óptima. Se explica la ingeniería de detalle de un sistema fotovoltaico y de un sistema termosolar, diseñados de acuerdo a normas y estándares nacionales e internacionales.

II. ANÁLISIS DE LOS MODELOS EXISTENTES DE VIVIENDAS DE CAMPO SUSTENTABLES

El diseño arquitectónico de viviendas de campo energéticamente sustentables, busca aprovechar los recursos naturales de tal modo que, se minimice el impacto ambiental de la construcción y operación de la vivienda [1] [2].

Las viviendas de campo diseñadas bajo este paradigma, se construyen con materiales ecológicos, reciclables, recuperables, o, reutilizables; y, son capaces de mantener, producir, y, controlar la energía que requieren para su operación. [3]

Dada la diversidad de variables a considerar en el diseño de una vivienda de campo sustentables, en el marco de este proyecto se decidió analizar propuestas existentes en el mercado, cuyas condiciones se adapten a la realidad de las zonas rurales de la provincia de Loja. A través de un breve análisis de los modelos de viviendas de campos descritos en [4, 5, 6, 7, 8, 9], en cuanto a su potencial adaptabilidad a las condiciones de la provincia de Loja, permitió preseleccionar dos modelos: villa Akarp y Living Space 21 [4], [7].

Los modelos preseleccionados, fueron analizados con profundidad, sobre la base de los principales parámetros constructivos y operativos que influyen en el consumo de energía, y, considerando la replicabilidad en la provincia de Loja (ver Tabla 1). Los resultados muestran que el modelo que mejor se adapta a las condiciones de la provincia de Loja es Living Space 21.

Tabla 1

Análisis comparativo del desempeño de las viviendas de campo preseleccionadas, en función de la demanda de energía, y, de la replicabilidad en la provincia de Loja. Diseño de los autores.

Parámetros	Villa Akarp	Replicable	Living Space 21	Replicable
Materiales empleados en la construcción	Hormigón y ladrillos.	✓	Madera, vidrio.	✓
Iluminación	Natural	✓	Natural	✓
Calefacción/Ventilación	No	x	Ventanas en el techo	✓
Provisión Energía Eléctrica	Paneles solares	✓	Paneles solares	✓
Provisión agua caliente sanitaria	No	x	No	x
Cosecha de lluvias	Si		Si	

III. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA DE CAMPO SELECCIONADA COMO PROTOTIPO

Se analizó las características más relevantes de las viviendas de campos energéticamente sustentables, en este contexto, se decidió evaluar la potencialidad de emplear energía fotovoltaica para la provisión de energía a un módulo de iluminación de una vivienda de campo.

La vivienda seleccionada como prototipo, se encuentra ubicada a un costado de la vía Loja - Malacatos, en el sector de Landangui, a 25 Km de Loja. La vivienda seleccionada puede ser catalogada como una casa de descanso, diseñada para ser habitada por 4 o 5 personas, en espacios distribuidos en dos plantas (primera planta: cocina-comedor, sala, y, baño social; segunda planta: dos habitaciones, un baño, y, un ático). La vivienda se construyó con estructura metálica, ladrillo, techo de zinc, y, piso de cemento. En la parcela en la que se encuentra la vivienda, se planea implementar a futuro una piscina, jardines, juegos infantiles, y, un área de cultivo (ver Fig.1).



Fig. 1. Planta general de la parcela en la que se encuentra ubicada la vivienda seleccionada como prototipo en este proyecto. [Diseño del Arq. William Medina Maldonado]

IV. PREDISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA AL MÓDULO DE ILUMINACIÓN DE LA VIVIENDA

A. Aproximación de la demanda de energía requerida para iluminación de la vivienda

En una casa de campo, la demanda de energía puede variar en función de las costumbres de los ocupantes, y, de las condiciones del clima.

La Tabla 2, aproxima la demanda de energía requerida para iluminación interior de la vivienda, esta proyección de demanda de energía se realizó para un uso extensivo, considerando las horas luz disponibles en la zona. Se considera como parte de la iluminación interior, a todas las luminarias dispuestas dentro de la vivienda. Para la proyección de la demanda, se consideró el consumo de lámparas LFC SYLVANIA de 20W, de 6000 h de vida útil, y, de color blanco luz día.

La Tabla 3, resume el cálculo de la demanda de energía requerida para iluminación exterior. Se entiende como parte de la iluminación exterior, a todas las luminarias fuera de la vivienda. La proyección se realizó asumiendo la utilización de lámparas High Power LED Streetlight SP90 de 28W, 50000 h de uso, de color blanco puro.

Tabla 2

Demanda de energía proyectada para iluminación interior.
Elaboración de los autores.

Espacio	Número de lámparas	Potencia, W	Uso, h	Energía W/h
Cocina –comedor	2	20	10	400
Sala	1	20	10	200
Baño 1	1	20	2	40
Baño 2	1	20	2	40
Escalera	2	20	5	200
Habitación 1	1	20	6	120
Habitación 2	1	20	6	120
Ático	1	20	3	60
Entrada	1	20	5	100
SUBTOTAL, W/h				1280
FACTOR DE RESERVA, 25%				320
TOTAL, W/h				1600

Tabla 3

Demanda de energía proyectada para iluminación exterior.
Elaboración de los autores

Modelo	Número de lámparas	Potencia, W	Uso, h	Energía W/h
SP90	1	28	10	280
SUBTOTAL, W/h				280
FACTOR DE RESERVA, 5%				14
TOTAL, W/h				294

La Tabla 4, describe el cálculo de la demanda de energía requerida para iluminación monumental. La iluminación monumental incluye todas las lámparas ubicadas en jardines, en la fachada exterior, y, en la zona de la piscina. La proyección de demanda de energía se realizó asumiendo la utilización de reflectores y cintas LED.

Tabla 4

Demanda de energía proyectada para iluminación monumental. Elaboración de los autores

Ubicación	Número de lámparas	Potencia, W	Uso, h	Energía W/h
Fachada exterior (reflectores LED)	6	30	10	1800
Piscina (cintas LED flexibles sumergibles RGB)	4	6	6	144
Jardinería	10	4	10	400
SUBTOTAL, W/h				2344
FACTOR DE RESERVA, 5%				586
TOTAL, W/h				2930

En total, trabajando en régimen extendido, el módulo de iluminación (interna, externa, y, monumental), requeriría de 4,8 kW/h. Para cubrir esta demanda, se requiere de un sistema PV robusto cuyo costo estaría fuera del presupuesto previsto, razón por la cual fue necesario analizar diversas arquitecturas para el sistema.

B. Opciones de arquitectura para el sistema PV

Analizar el comportamiento del sistema PV para provisión de energía al módulo de iluminación de la vivienda de campo, bajo 4 diferentes arquitecturas, ayudó a seleccionar la mejor opción técnica y económica para cubrir la demanda de energía proyectada.

La Fig. 2 muestra la primera opción de arquitectura que, cubre toda la demanda de energía desde el módulo PV. En función de la disponibilidad de energía en el módulo de storage, un bloque electrónico se encarga de conmutar la alimentación de la carga, ya sea desde el módulo PV o ya desde la red pública.

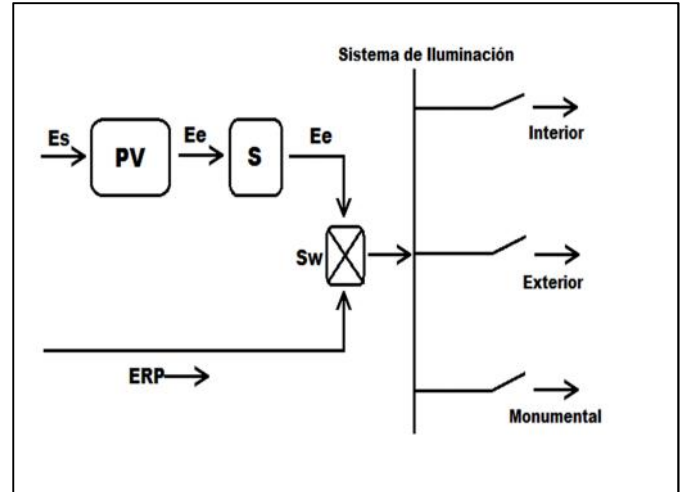


Fig. 2. Primera opción de arquitectura para el sistema: el módulo PV cubre toda la demanda. Diseño de los autores.

PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública

En la segunda opción de arquitectura (Ver Fig. 3), el módulo PV alimenta sólo el bloque de iluminación interior, respaldado por la red pública a través del módulo de transferencia. Los otros bloques de iluminación se alimentan directamente de la red pública.

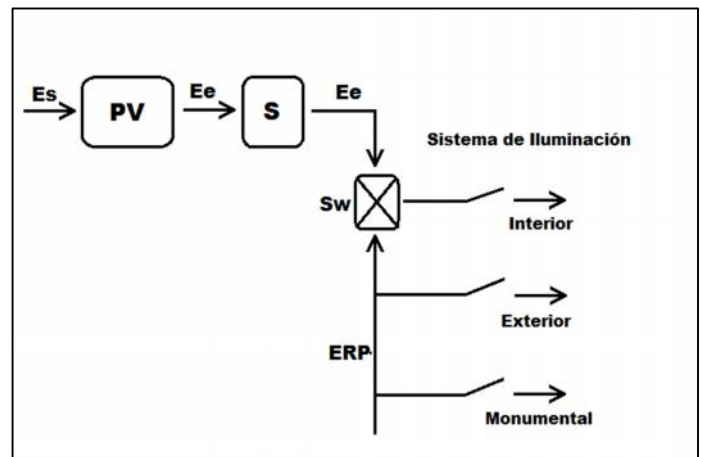


Fig. 3. Segunda opción de arquitectura para el sistema: el módulo PV cubre sólo la demanda del bloque de iluminación interior. Diseño de los autores.

PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública

En la tercera opción de arquitectura (Ver Fig. 4), un módulo PV alimenta el bloque de iluminación interior, respaldado por la red pública a través del módulo de transferencia. Un segundo módulo PV, sin apoyo de la red pública, alimenta el bloque de iluminación exterior. El bloque de iluminación monumental se alimenta directo de la red pública.

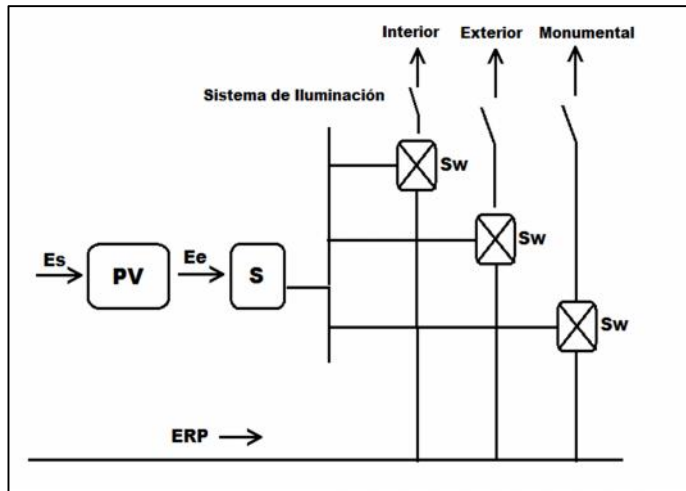


Fig. 4. Tercera opción de arquitectura para el sistema: dos módulos PV individuales cubren la demanda de los bloques de iluminación interior y exterior. Diseño de los autores.
PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública.

En la cuarta opción de arquitectura (Ver Fig. 5), 3 módulos PV individuales alimentan la iluminación interior, exterior, y, monumental, respaldados por la red pública a través de módulos individuales de transferencia.

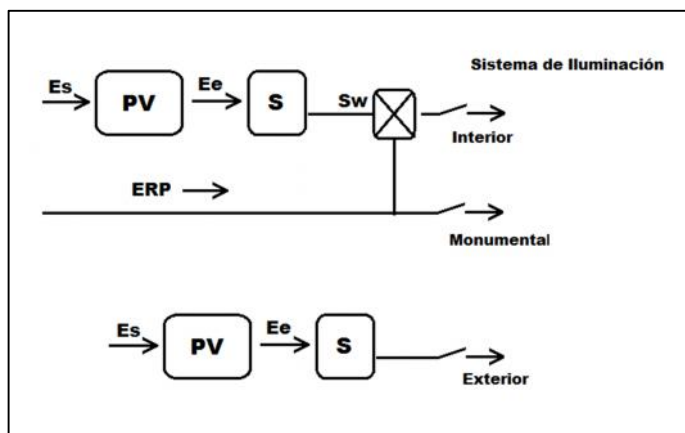


Fig. 5. Cuarta opción de arquitectura para el sistema: módulos PV individuales cubren la demanda de los bloques de iluminación. Diseño de los autores.
PV – módulo fotovoltaico, S – storage de energía, Sw – módulo de transferencia, Es – energía solar, Ee – energía eléctrica, ERP – energía de la red pública.

Entre las opciones presentadas, se ha escogido, la cuarta opción de arquitectura, ya que es la que mejor se adapta a los requerimientos.

Esta arquitectura presenta un sistema que lo diferencia de los anteriores, ya que como se puede apreciar (Ver Fig.5), este sistema presenta una distribución bien definida en cuanto a iluminación. Es por ello, que al trabajarlo de esta manera, separada, se puede controlar la iluminación de forma eficaz, para cada uno de los sistemas (interior, monumental y exterior).

C. Dimensionamiento de los elementos del sistema PV

A. Potencial emplazamiento de los módulos PV

En el marco de este proyecto, para el dimensionamiento de los elementos del sistema PV, se decidió utilizar la metodología sugerida en el atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, editado por el CONELEC [10]. Los módulos PV que proveerán de energía a los bloques de iluminación interior y monumental, operarán en 24 V; mientras que el módulo de alimentación a la iluminación exterior, lo hará en 12V.

La Tabla 5 resume los resultados obtenidos en el dimensionamiento del módulo PV que alimenta a la iluminación interior.

Tabla 5

Resumen de los componentes requeridos para el SPV de iluminación interior [Autores].

Carga total en AC	1600 W/día	
Carga total en DC	1920 W/día	
Tensión del sistema	24Vdc	
Subsistema de captación de energía	Modelo: SIMAX	
	Potencia: 190 Wp	
	Número de paneles: 4	
Subsistema de storage de energía	Regulador	Modelo: ProStar 30M
		Tensión nominal: 24Vdc
		Corriente Máxima: 30A
	Inversor	Modelo: EXMORK
		Potencia: 2000W
		Vac/f: 120Vac/60Hz
	Baterías	Modelo: MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah
Número de baterías: 2		

La Tabla 6 resume el cálculo del presupuesto referencial de implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación interior, considerando rubros de transporte, mano de obra, y, materiales y equipos.

Tabla 6

Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación interior. Diseño de los autores.

Materiales y equipos, USD	5442,45
Mano de obra, USD	470,00
Dirección técnica y administrativa, USD	1036,86
Imprevistos, USD	345,62
Total, USD	7294,94

La Tabla 7 resume los resultados obtenidos en el dimensionamiento del módulo PV que alimenta a la iluminación exterior.

Tabla 7

Dimensionamiento del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación exterior. Diseño de los autores.

Carga total en AC	294 W/día	
Carga total en DC	352,8 W/día	
Tensión del sistema	12 Vdc	
Módulo PV	Modelo: SIMAX	
	Potencia: 140 Wp	
	Número de paneles: 1	
Módulo de storage	Regulador	Modelo: Morningstar SolarHome SHS
		Tensión nominal: 12Vdc
		Corriente máxima: 10 ^a
	Inversor	Modelo:
		Potencia:
		Vac/f:
	Baterías	Modelo: MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah
		Número de baterías: 1

La Tabla 8 resume el cálculo del presupuesto referencial de implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación exterior, considerando rubros de transporte, mano de obra, y, materiales y equipos.

Tabla 8

Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación exterior. Diseño de los autores.

Materiales y equipos, USD	729,05
Mano de obra, USD	135,00
Dirección técnica y administrativa, USD	129,61
Imprevistos, USD	43,20
Total presupuesto general, USD	1036,86

La Tabla 9 resume los resultados obtenidos en el dimensionamiento del módulo PV que alimenta a la iluminación monumental

Tabla 9

Dimensionamiento del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación monumental. Diseño de los autores.

Carga total en AC	2930 W/día	
Carga total en DC	4392 W/día	
Tensión del sistema	24 Vdc	
Módulo PV	Modelo: SIMAX	
	Potencia: 190 Wp	
	Número de paneles: 8	
Módulo de storage	Regulador	Modelo: Morningstar TriStar
		Tensión nominal: 24Vdc
		Corriente máxima: 60 ^a
	Inversor	Modelo:
		Potencia:
		Vac/f:
	Baterías	Modelo: MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah
		Número de baterías: 12

La Tabla 10 resume el cálculo del presupuesto referencial de implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación monumental, considerando rubros de transporte, mano de obra, y, materiales y equipos.

Tabla 10

Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación monumental. Diseño de los autores.

Materiales y equipos, USD	8356,50
Mano de obra, USD	690,00
Dirección técnica y administrativa, USD	1506,97
Imprevistos, USD	502,32
Total presupuesto general, USD	11055,80

V. INGENIERÍA DE DETALLE

B. Arquitectura del SPV

Se justificó la decisión de adoptar para el SPV una arquitectura en la que módulos PV individuales alimentan la iluminación interior, exterior, y, monumental, respaldados por la red pública a través de módulos individuales de transferencia.

C. Demanda programada

Para efectos de ingeniería de detalle, se estableció una demanda de energía en la vivienda de 1,6 kW/día para iluminación interior y monumental (carga total requerida en AC), y, de 0,294 kW/día para iluminación exterior.

D. Niveles disponibles de radiación

Por la ubicación geográfica (en la cabecera del Valle de Catamayo) y por la altura (1900 msnm), la zona en la que se encuentra la vivienda registra una temperatura promedio de 21°C y altos niveles de radiación (ver Tabla 11) [10].

Tabla 11

Niveles de radiación solar anual en el cantón Loja [10]

Meses del año	Nivel de radiación solar (Wh/m ² /día)
Enero	4750
Febrero	4925
Marzo	4575
Abril	4050
Mayo	4275
Junio	4400
Julio	4575
Agosto	5100
Septiembre	5275
Octubre	5450
Noviembre	5450
Diciembre	5275
Promedio anual	4842

E. Potencial emplazamiento de los módulos PV

La vivienda para la cual se diseña la ingeniería de detalle del SPV, se encuentra ubicada a un costado de la vía Loja - Malacatos, en el sector de Landangui, a 25 Km de Loja.

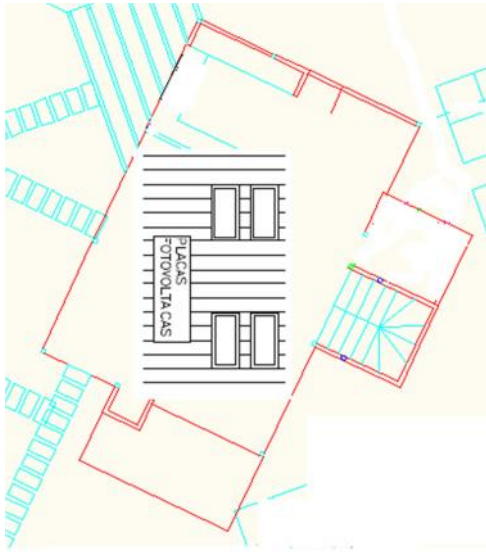


Fig. 6 Emplazamiento de los módulos PV sobre la cubierta de la vivienda [Autores].

Considerando la posición geográfica, y, con la intención de captar la mayor radiación solar posible, se propuso ubicar los módulos PV sobre la cubierta de la vivienda, en dirección noreste, tal como lo muestra la Fig. 6.

VI. ILUMINACIÓN INTERIOR

En la tabla 12, se resume los componentes requeridos para el SPV de iluminación interior.

Tabla 12

Resumen de los componentes requeridos para el SPV de iluminación interior [Autores].

Carga total en AC	1600 W/día	
Carga total en DC	1920 W/día	
Tensión del sistema	24Vdc	
Subsistema de captación de energía	Modelo: SIMAX	
	Potencia: 190 Wp	
	Número de paneles: 4	
Subsistema de storage de energía	Regulador	Modelo: ProStar 30M
		Tensión nominal: 24Vdc
		Corriente Máxima: 30A
	Inversor	Modelo: EXMORK
		Potencia: 2000W
		Vac/f: 120Vac/60Hz
	Baterías	Modelo: MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah
		Número de baterías: 2

A. Emplazamiento final de los módulos PV

El emplazamiento final de los módulos PV en la cubierta de la vivienda, dependerá de la carga estructural que representen.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de los módulos seleccionados, estos tienen un área equivalente de 1,28 m², por lo que los 4 módulos requeridos representan un área total de 5,11 m². Considerando los 14 Kg de peso de cada módulo, entonces se tiene una carga total de 62 Kg. Finalmente, la carga estructural es del orden de 12,14 Kg/m², que por información del propietario de la vivienda, son fácilmente asumibles por la estructura.



Fig.7. Emplazamiento de los módulos PV en la cubierta de la vivienda [Autores]

La Fig. 7 muestra el emplazamiento final de los módulos PV en la cubierta de la vivienda, en correspondencia a los criterios de montaje de la Norma Ecuatoriana NEC-11 sobre energías renovables.

Los módulos PV se conectan entre sí en paralelo. Los cables de interconexión se dirigen, a través de una canaleta, a un tablero de distribución, cuidando que la longitud del recorrido sea mínima, a fin de reducir las pérdidas en conducción.

B. Cableado eléctrico

El tipo de cable para conectar los paneles, la batería, el controlador de carga, el inversor, y, el tablero de distribución, se seleccionó de acuerdo a los requerimientos eléctricos de ampacidad, caída de voltaje, y, seguridad [11], [12]. Se utilizó también la tabla de caída de tensión sugerida por Green Empowerment [13], en busca de garantizar que la caída de tensión no sea mayor al 3%.

Como información preliminar para la selección, se estableció que los paneles dispuestos en paralelo proporcionan una corriente pico de 23,73 A, a un voltaje de 24 V, y, que los paneles y el controlador de carga están a más o menos 6 m de distancia. En estas condiciones, considerando pérdidas de voltaje menores al 3%, se utilizó la tabla sugerida por Green Empowerment [13] para seleccionar el conductor, escogiendo uno tipo AWG 8.

La corriente a circular entre el tablero de distribución y los interruptores, en una longitud de 20 m, se aproximó en 1 A, con lo cual el conductor seleccionado es del tipo AWG 14.

Bajo el mismo principio, las lámparas LFC se conectarán con un conector AWG 14, seleccionado para una corriente de 1A y una distancia total de 33m.

Las tomas corrientes se conectarán con cable AWG 10, para un voltaje de 110V, en correspondencia a los criterios de montaje de la Norma Ecuatoriana NEC-11 sobre energías renovables.

Para identificar los diversos conductores, se adaptó el código de colores previsto en la norma NOM-001-SEDE-2005 [14], de tal manera que:

- Utilizar cables sólidos AWG 8, color naranja para el positivo y celeste para el negativo, en la conexión de los paneles fotovoltaicos.
- Utilizar cable de hilos AWG 10 color rojo para fase y gris para neutro.
- Utilizar cables sólidos AWG 14, color gris para el neutro y azul para la fase.
- Utilizar cable verde AWG14 para la conexión entre las lámparas, y, conexión a tierra.

C. Tablero de control

El tablero de control propuesto, permite centralizar la conexión de los módulos de storage y conmutación (ver Fig. 8).

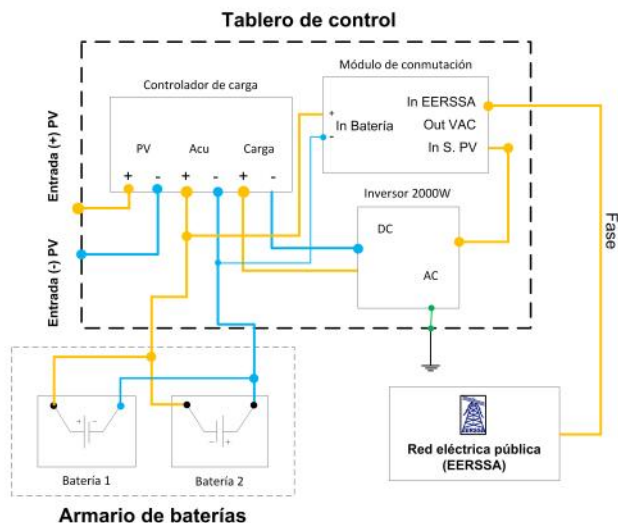


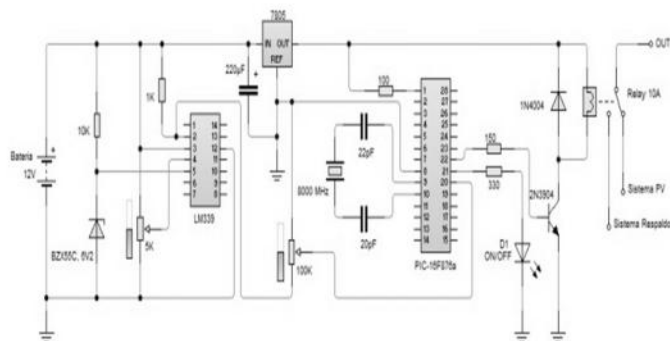
Fig. 8. Esquema eléctrico del tablero de control. [Diseño de autores]

El módulo de conmutación apoya la provisión constante e interrumpida de energía al bloque de iluminación. Desde la perspectiva del control automático, el módulo responde a la variable “nivel de energía disponible en las baterías”, que caracteriza al módulo de storage del sistema (ver Fig.9) [15].

La lógica de operación propuesta para el módulo de conmutación, opera en régimen automático.

En una primera etapa, se monitorea el nivel de voltaje en los bornes de las baterías del módulo de storage. Un descenso en el nivel más allá de lo permitido, emite una señal que activa la segunda etapa.

En la segunda etapa, un temporizador crea un delay en la activación de un relé, que redirecciona la alimentación del tablero de protección y del módulo de iluminación, hacia el módulo de la red pública eléctrica EERSSA.



(a)



(b)

Fig. 9. Módulo de conmutación construido para el sistema híbrido de la isla experimental. a) Esquema eléctrico b) esquema construido para la isla [8].

D. Tablero de distribución

El tablero de protección centraliza la activación y protección de cada uno de los circuitos del sistema [16]. El esquema eléctrico del tablero se muestra en la Fig. 10. De acuerdo a [16], para la protección se seleccionó breakers de 15 A.

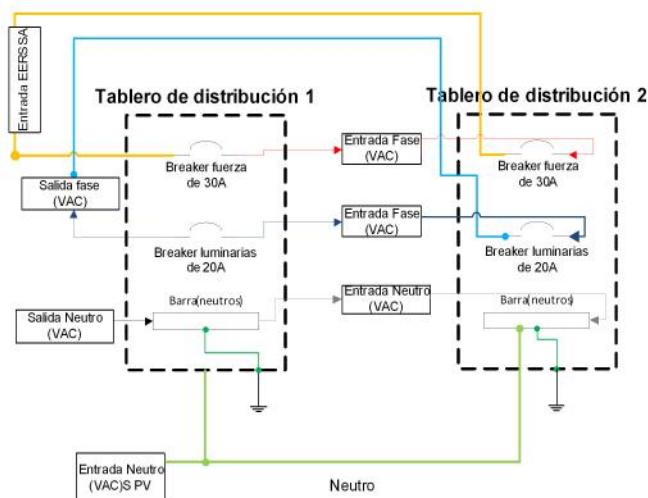


Fig. 10. Esquema eléctrico del tablero de distribución (1 y 2) y de protección. [Diseño de autores]

E. Conexión de los tableros a tierra

El aterrizaje o conexión a tierra pretende evitar tensiones peligrosas en las partes metálicas o conductoras de cualquier objeto, que no están diseñadas para conducir corriente en condiciones normales. Estas tensiones pueden aparecer por contacto con conductores vivos, o, por otras causas como inducción eléctrica [16].

Para protección de sobrecorriente, el cable de tierra se conecta con el neutro mediante un puente de unión. Esto permite que al presentarse una falla a tierra, se produzca un cortocircuito que haga operar el dispositivo de protección del circuito.

F. Módulo de iluminación

Para iluminación se utilizó 11 lámparas LFC SYLVANIA de 20W. Las luminarias se conectaron con cable AWG #14, en correspondencia a la norma ecuatoriana NEC-11 de energías renovables [11], de acuerdo al esquema de conexión mostrado en la Fig.11.

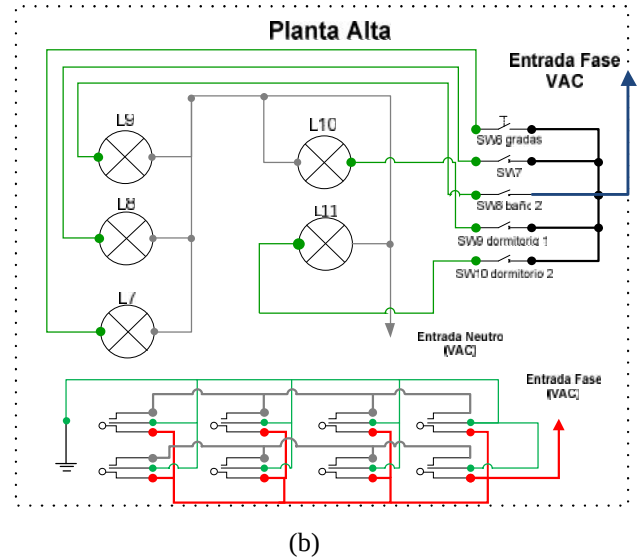
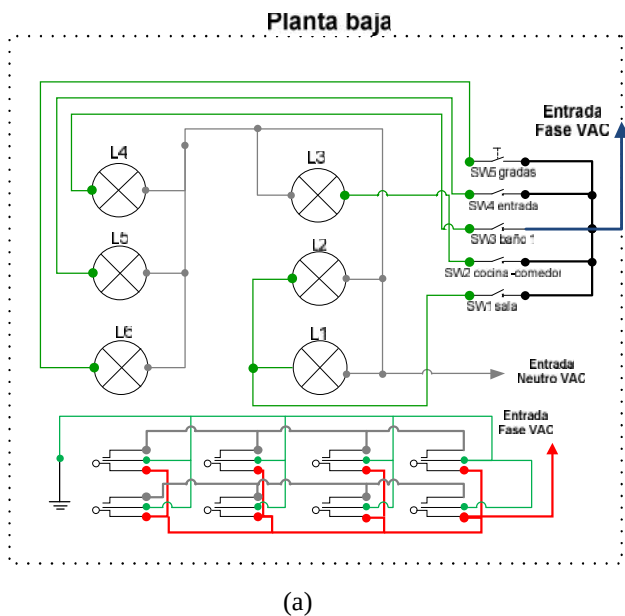


Fig. 11. Esquema de conexiones del módulo de iluminación a) planta baja y b) planta alta de la vivienda. [Diseño de autores]

En la Fig. 12 se muestra un esquema general de las conexiones eléctricas del sistema fotovoltaico.

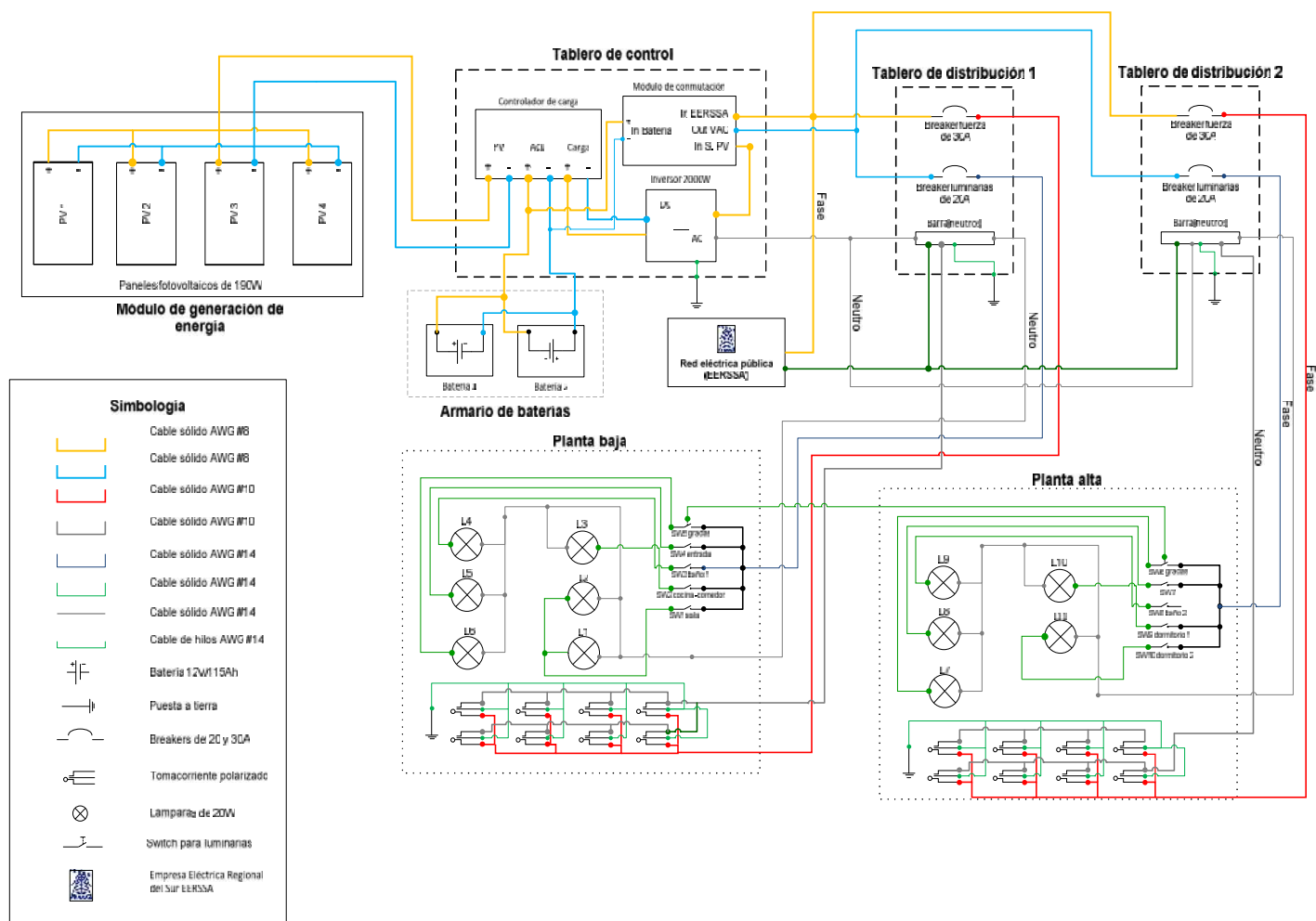


Fig. 12. Esquema general de las conexiones eléctricas del sistema fotovoltaico para provisión de energía a un módulo de iluminación de una vivienda de campo en la provincia de Loja. [Autores].

VII. ILUMINACIÓN EXTERIOR

El diseño del sistema fotovoltaico para iluminación exterior, se basa en la metodología anteriormente descrita, y, parte de la selección de paneles fotovoltaicos SIMAX 140Wp/12V, cuyas características técnicas se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Resumen de los componentes del sistema fotovoltaico autónomo diseñado. Elaborado por los autores.

Carga total en AC	294 W/día		
Carga total en DC	352,8 W/día		
Tensión del sistema	12 Vdc		
Módulo PV	Modelo: SIMAX		
	Potencia: 140 Wp		
	Número de paneles: 1		
Módulo de storage	Regulador	Modelo:	Morningstar Solar Home SHS
		Tensión nominal: 12Vdc	
		Corriente máxima: 10ª	
	Inversor	Modelo:	
		Potencia:	
		Vac/f:	
	Baterías	Modelo:	MILLENIUM
		Capacidad nominal: 115 Ah	
Número de baterías: 1			

VIII. CÁLCULO DE INVERSIÓN REQUERIDA

La inversión requerida se aproximó considerando rubros tales como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje (ver Tabla 14).

Tabla 14

Presupuesto referencial para la implementación del módulo PV para provisión de energía al bloque de iluminación. Diseño de los autores.

Descripción de productos	Unidad	Cantidad	Precio unitario, USD	Costo total, USD
Paneles fotovoltaicos, SIMAX 190Wp	u	4	425,6	1702,4
Baterías MILLENIUM, selladas libre de mantenimiento 12V, 115Ah	u	2	302,4	604,8
Controlador de carga Phocos CML 12/24V 10/10A CML10-2.1	u	1	48,5	48,5
Set de conmutación automática y control	u	1	15,0	15,0
Breaker 10 A DC	u	1	13,0	13,0
Varilla de cobre para puesta a tierra, 5/8"	u	1	14,0	14,0
Cable de hilos verde para tierra 1x10 AWG	m	20	0,45	9,0

Canaleta de 2 x 2cm de 3 metros de largo	u	3	3,0	9,0
Caja de breakers	u	2	5,0	10,0
Cable de hilos verde 1x8 AWG	u	10	0,45	4,5
Bombilla LFC SYLVANIA de 20W	u	11	2,0	22,0
Boquillas	u	11	0,50	5,50
Cable conexión entre bombillas LED y batería 1x14 AWG	m	33	0,45	14,85
Misceláneos (grapas, borneras, fusibles, cinta aislante, terminales de cable y todo aquellos que los equipos ofertados requieran según especificaciones técnicas de los mismos.)	u	1	250,0	250,0
Subtotal				2920,55
IVA, 12%				350,46
Imprevistos, 5%				146,02
TOTAL				3417,03

IX. PROVISIÓN DE ACS A TRAVÉS DE COLECTORES SOLARES

Se exige que la provisión de ACS se caracterice por una alta fiabilidad y un menor coste posible. Para provisión de ACS se utiliza diferentes tecnologías, entre las que un lugar especial tiene la basada en el uso de colectores solares que aprovechan la energía solar térmica para calentar agua.

Este tipo de sistemas de provisión de ACS, reduce la demanda de energía para calentar agua entre un 50 y 100% [17], no produce contaminación en su operación, tiene un montaje sencillo, requiere de mantenimiento mínimo; con los complementos correctos pueda proveer de ACS 24h al día [18]; y, tiene una vida útil estimada de 20 años.

A. Requerimientos generales para el diseño del sistema de provisión de ACS

A través de una entrevista personal con el propietario de la vivienda en la que se desea intervenir, se estableció que el número de ocupantes oscilará entre 7 y 9 personas, con una ocupación real en días feriados y vacaciones. De esta información, y, considerando las características técnicas de los colectores termosolares disponibles en el mercado local, se decidió recomendar la utilización de un sistema de 300 l de capacidad.

En acuerdo con los potenciales habitantes de la vivienda, la temperatura requerida para el ACS se predeterminó en el rango de 45 a 60°C.

El tipo de tubería que se usa para evitar pérdidas térmicas en la distribución en este tipo de instalaciones de ACS, son los de plástico PVC. La longitud de las tuberías deberá ser lo más corta posible, a fin de evitar las pérdidas térmicas en su recorrido.

B. Arquitectura propuesta para el sistema de provisión de ACS

Considerando las características del agua provista por la red pública en el sector, los requerimientos de mantenimiento del sistema, y, la necesidad de contar con una opción para provisión auxiliar, se propuso diseñar el sistema de provisión de ACS de acuerdo a la arquitectura mostrada en la Fig.13.

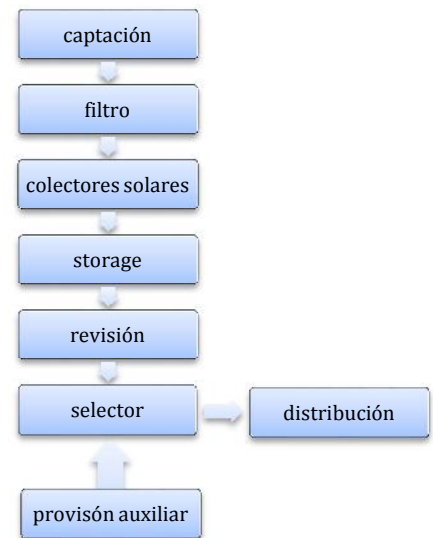


Fig. 13 Arquitectura general del sistema de provisión de ACS a implementar. [Elaborada por autores]

El agua proveniente de la red pública ingresa al sistema a través del nodo de captación. Los sólidos en suspensión son retenidos en un filtro estándar de sedimentos, de 80 micras, lavable.

En los colectores solares, el agua se calienta a la temperatura requerida, y, se envía al storage conformado por un tanque de acero inoxidable con el debido aislamiento térmico para evitar que el calor escape. La energía requerida para el flujo del agua, proviene del principio de termosifón por el que opera el sistema. En esta etapa, el sistema se complementa con recursos electromecánicos suficientes para posibilitar la revisión del desempeño del sistema y el control de calidad del agua almacenada. Un selector mecánico permite alimentar la red de distribución de ACS en la vivienda, desde el storage de ACS o desde una fuente auxiliar de ACS, como un calefón.

Tabla 15.

Análisis comparativo de las características de algunos colectores solares disponibles en el mercado, y, potencialmente aplicables en este proyecto.
[Elaborada por autores]

Modelo	DAITSU	HEAT PIPE	CHISOL
Tipo de panel térmico	Placa de tubos de vacío	Tubos de vacío	Tubos de vacío
Superficie (m ²)	4,00	3,56	4,18
N° de tubos	25	26	35
Volumen total (Lt)	300	300	300
Eficiencia	0,78	0,81	0,84
Peso (Kg)	40	64	64
Temperatura	60 a 90 °C	60 a 90 °C	60 a 90 °C
Precio (USD)	1400	1600	1100

C. Selección de los colectores solares

La Tabla 15 resume las características técnicas de algunos de los colectores solares disponibles en el mercado, que cumplen con los requerimientos establecidos para el sistema.

El análisis de las características permitió seleccionar los colectores solares modelo CHISOL, de procedencia taiwanesa, y, distribuidos en Ecuador por la empresa EC-ENERGY. Estos colectores presentan la mayor eficiencia y el menor costo (ver Fig.14). Adicionalmente, el modelo posee un controlador digital ATM, un sensor de nivel y temperatura, una válvula selenoide, y una pantalla digital, lo que será utilizado en el nodo de control del sistema [19].



Fig. 14 Colector solar CHISOL. [Disponible en: <http://www.panelessolares.ec/productos.html>]

D. Evaluación del desempeño de los colectores: ganancia y pérdidas

Los cálculos requeridos en la metodología, para determinar la ganancia y las pérdidas en el colector solar, se realizaron utilizando una hoja de Excel (ver Fig.15). Los valores numéricos de las variables, se obtuvieron de tablas referenciales, del Atlas Solar Ecuatoriano, y, de las características técnicas del colector seleccionado (ver Tablas 2 y 3) [20], [21], [22]. Como resultado final, se obtuvo una gráfica del desempeño anual, que permite la estimación temprana del desempeño del colector solar.

En la Tabla 16, se muestran los valores de las variables utilizados para la valoración del desempeño del colector solar.

Tabla 16.
Variables utilizadas para el método F-Chart.

Parámetro	Valor
Temperatura de agua red publica	17°C
Temperatura de ACS	60°C
Constante de absorbanza-transmitida	0,75
Factor de utilización	7
Factor de eficiencia del intercambiador de calor	1
Calor específico del liquido	4187 J*Kg ⁻¹ *°K ⁻¹

La metodología establece que el valor mínimo del parámetro f calculado (ver Fig. 16), debe ser mínimo igual a 0.84 [19]. Los resultados obtenidos muestran que el parámetro f registra su mínimo en el mes de noviembre, con un valor de 0.886, por encima del mínimo establecido. Con esto, se confirma la viabilidad del uso del colector seleccionado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	METODO F-CHART																					
2						MESES	DIAS	SEGUNDO	Consumo H	(Wh/m2/d)	H(Wh/m2/d)	Ta (C)	FU	To COL	B	Delta T	X/m2	Ta	To	Y/m2	Area	
3		Superficie util del colector	S(m2)	4,18		Enero	31	2678400	1,67E+09	4750	17700000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00689	4,18	
4		Factor de eficacia colector	f	0,84		Febrero	28	2419200	1,51E+09	4325	17730000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00791	4,18	
5		Perdidas de colector	u	0,9		Marzo	31	2678400	1,67E+09	4575	16470000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00664	4,18	
6		Factor de eficacia del intercambiador	B	1		Abril	30	2592000	1,62E+09	4050	14580000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00607	4,18	
7		Temperatura referencial de trabajo	Tref	60		Mayo	31	2678400	1,67E+09	4275	15390000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,0062	4,18	
8		Temperatura Ambiente	Ta	17		Junio	30	2532000	1,62E+09	4400	15940000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,0066	4,18	
9		Producto de absorptancia transmitida	To	0,75		Julio	31	2678400	1,67E+09	4575	16470000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00664	4,18	
10		Media mensual de irradiacion total	H	4800		Agosto	31	2678400	1,67E+09	5100	18360000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,0074	4,18	
11		Numero de dias al mes	N	30		Septiembre	30	2532000	1,62E+09	5275	18990000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00791	4,18	
12		Caudal	q	300		Octubre	31	2678400	1,67E+09	5450	19620000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00791	4,18	
13		Consumo energetico	L	54012300		Noviembre	30	2532000	1,62E+09	5450	19620000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00817	4,18	
14		Masa	m	300		Diciembre	31	2678400	1,67E+09	5275	18990000	17	7	0,75	1	43	0,48149	15	0,9	0,00766	4,18	
15		Calor especifico	Ce	4187																		
16		Conductividad de insolation	k	0,1481481																		
17		Tg teta		13,5																		
18		Factor de utilizacion	FU	7																		
19																						
20																						
21																						
22	RESULTADOS																					
23	Meses	X	Y	Parametro f																		
24	Enero	2,01263	0,0288153	0,940816821																		
25	Febrero	2,01263	0,033078	0,897537374																		
26	Marzo	2,01263	0,0277537	0,951594234																		
27	Abril	2,01263	0,0253876	0,975632191																		
28	Mayo	2,01263	0,0259338	0,970082553																		
29	Junio	2,01263	0,0275818	0,953339663																		
30	Julio	2,01263	0,0277537	0,951594234																		
31	Agosto	2,01263	0,0309385	0,919278435																		
32	Septiembre	2,01263	0,0330668	0,897770755																		
33	Octubre	2,01263	0,0330617	0,897776196																		
34	Noviembre	2,01263	0,0341638	0,886602517																		
35	Diciembre	2,01263	0,0320001	0,90851746																		

Fig. 15 Hoja Excel implementada para aplicar el método F-Chart, en la evaluación del desempeño del colector solar. [Realizado por los autores]

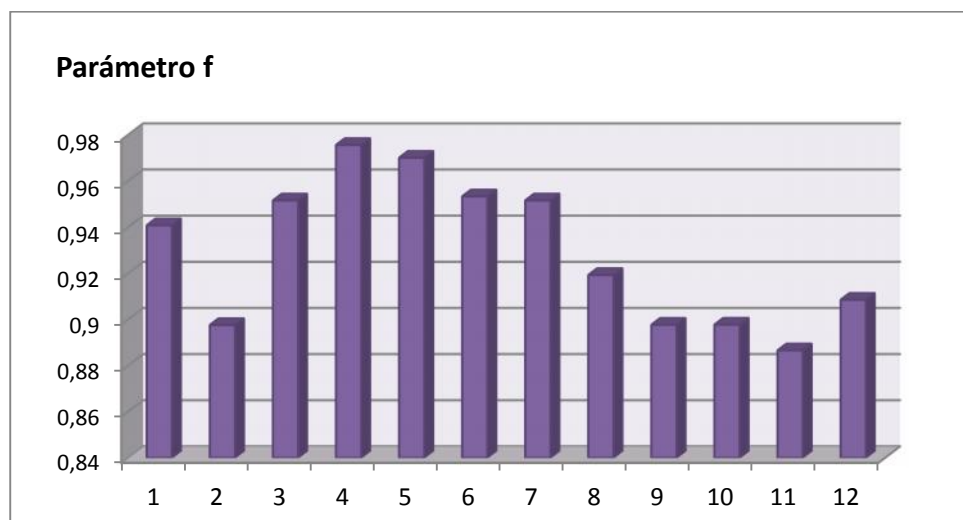


Fig. 16 Resultado de la evaluación del desempeño del colector solar CHISOL, utilizando el método F-Chart. Significado del parámetro f para cada uno de los 12 meses del año. [Realizado por los autores]

E. Diseño de la red de ACS

El colector se instalará en la parte posterior de la vivienda (ver Fig.5), sobre una base metálica que permita que la superficie útil sea radiada por el Sol, a la vez que se establece una zona de seguridad respecto a manipulación del sistema.

El diámetro de las tuberías a utilizar, se seleccionará en función de las recomendaciones explicadas en la bibliografía (ver Tabla 16) [23].

Tabla 17.	
Diámetro nominal del sub-ramal en la vivienda [23]	
Aparato o punto de consumo	Diámetro del sub-ramal en pulgadas
Lavatorio	½
Ducha	½
Lavador de cocina	½
Vertedero	¾

La Fig. 17 muestra el esquema general de la red de provisión de ACS



Fig. 17 Emplazamiento del colector solar en la parte posterior de la vivienda. [Realizado por los autores]

Por otra parte, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 373:2010, describe el uso de colores para diferenciar los ramales de la tubería [24]:

- color azul para la red de agua fría de ½”.
- color azul para la columna de agua potable de ¾”
- color rojo para la red de agua caliente de ½”

F. Control del abastecimiento secundario de ACS

El abastecimiento secundario debe apoyar a la provisión constante e interrumpida de ACS. En este contexto, se decidió proponer la implementación de un bloque de control (BC), que permita modificar automáticamente la provisión de ACS a la vivienda, ya sea desde el sistema termosolar, o, desde un calefón alimentado por gas licuado de petróleo GLP (ver Fig. 18).

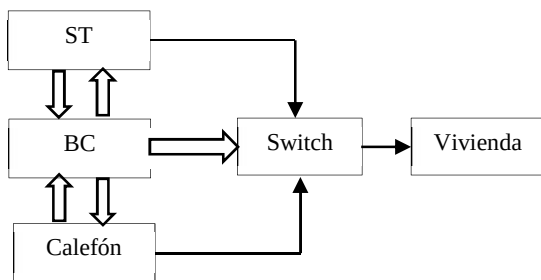


Fig. 18 Esquema general del abastecimiento secundario de ACS. [Realizada por autores]

Para el diseño del BC, se aplicó una metodología estándar: identificación de las variables de entrada y salida del sistema, y, definición del algoritmo de control [10]. La Tabla 18 aproxima las variables de entrada y salida identificadas en la operación del BC, mientras que la Tabla 19 muestra los implementos y dispositivos requeridos para el funcionamiento del BC.

Tabla 18.
Variables a gestionar por el bloque de control. [Realizado por autores]

Variables de entrada		
Ítem	Designación	Descripción
1	T-1	Temperatura del agua tomada a la salida del tanque
2	T-2	Temperatura deseada por el usuario
Variables de salida		
1	V-1	Señal de activación de la electroválvula que alimenta la vivienda desde el sistema termosolar
2	V-2	Señal de activación de la electroválvula que alimenta la vivienda desde el calefón

Tabla 19.

Implementos y dispositivos requeridos en el bloque de control. [Realizado por autores]

Cantidad	Componente	Características requeridas
1	Controlador	Mínimo 2 salidas de relay
		Mínimo una entrada analógica/RTD
		HMI para visualización y configuración de parámetros.
		Entrada digital para establecer como bypass al calefón.
2	Sensores de temperatura	RTDs
		Rango mínimo de medición: 60°C y 90°C
		Acople mecánico NPT ½"
2	Electroválvulas	Acople PT ¾" o ½"
		Soportar temperaturas de hasta 100°C
		Señal de activación DC.
1	Tablero de Control	Mínimo 20x20cm (largo x ancho)
		Metálico

La Tabla 20 resume el algoritmo de operación propuesto para el BC, mientras que la Fig.19 muestra el Flujoograma de operación.

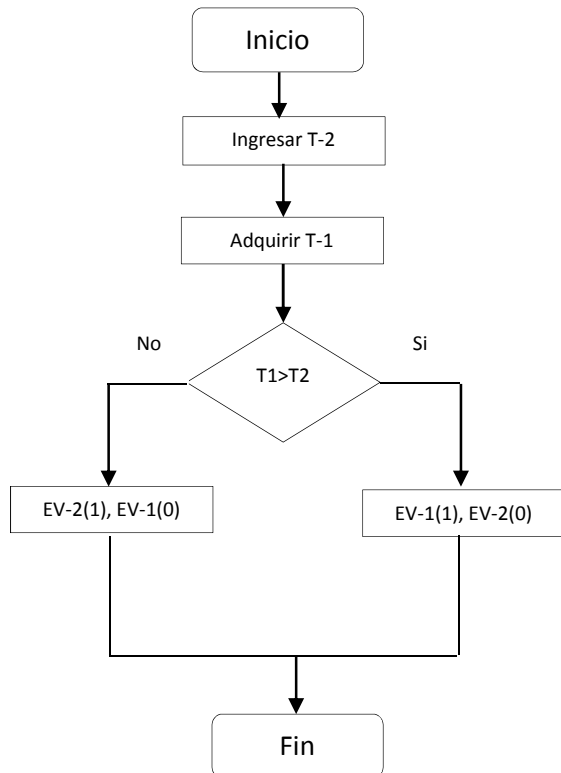


Fig. 19 Flujoograma de operación del BC. [Realizada por autores]

Tabla 20.

Algoritmo de control propuesto. [Realizado por autores]

Nº	Especificación
1	El usuario define T-2
2	Si T-1 es mayor a T-2, se abre la electroválvula 1 y se cierra la electroválvula 2
3	Si T-2 es menor a T-1, se abre la electroválvula 2 y se cierra la electroválvula 1

Debido a limitaciones económicas, este BL no fue implementado en la vivienda.

X. PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL SISTEMA ACS

Para calcular el presupuesto de la instalación del sistema ACS de provisión de energía a la vivienda de campo, se consideran rubros como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costo de montaje (ver Tabla 21).

Tabla 21.

Presupuesto referencial. Elaborado por autores

Descripción de productos	Unidad	Cantidad	Precio unitario, USD	Costo total, USD
Colector Solar CHISOL+ controlador ATM+ Sensor de nivel y temperatura+ bomba de circulación+ válvula de compuerta+ estructura metálica	u	1	1100,00	1100,00
Unión universal	u	1	7,50	7,50
Válvula de retención	u	1	20,00	20,00
Válvula de seguridad	u	1	12,00	12,00
Válvula de obturación 3 vías	u	1	10,00	10,00
Codos plásticos 1"	u	10	0,75	7,50
Aislamientos térmico	u	5	10,00	50,00
Tubería PVC 1/2"	u	5	2,50	12,50
Tubería HIDRO3 1/2"	u	5	3,00	15,00
Tubería PVC 3/4"	u	3	2,75	8,25
Te plásticas 1"	u	5	0,55	2,75
Mano de obra	u	1	200,00	200,00
Base metálica	u	1	300,00	350,00
Calefón Instamatic 26L	u	1	218,00	218,00
Filtro de sedimentos para purificar agua	u	1	20,00	20,00
Misceláneos (grapas, cinta, terminales y todo aquellos que los equipos ofertados requieran según especificaciones técnicas de los mismos.)	u	1	150,00	150,00
Subtotal				2183,25
IVA, 12%				262,02
Imprevistos, 5%				109,16
TOTAL				2554,43

XI. CONCLUSIONES

- El diseño arquitectónico de viviendas de campo energéticamente sustentables busca aprovechar los recursos naturales de tal modo que, se minimice el impacto ambiental de la construcción y operación de la vivienda.
- Las viviendas de campo diseñadas bajo este paradigma, se construyen con materiales ecológicos, reciclables, recuperables, o, reutilizables; y, son capaces de mantener, producir, y, controlar la energía que requieren para su operación.
- El análisis comparativo de los prototipos existentes en el mercado, sobre la base de los principales parámetros constructivos y operativos que influyen en el consumo de energía, y, considerando la replicabilidad en la provincia de Loja, muestra que el modelo que mejor se adapta a las condiciones de la provincia de Loja es Living Space 21.
- Para dimensionar y preseleccionar los equipos a utilizar en el sistema de provisión de energía fotovoltaica para iluminación de una casa de campo en la provincia de Loja, se utilizó la metodología sugerida por el Consejo Nacional de Electricidad, en el atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica.
- En una casa de campo, la demanda de energía puede variar en función de las costumbres de los ocupantes, y, de las condiciones del clima.
- La demanda total de energía proyectada para la iluminación de la casa de campo es de 4,8 kW/h.
- La radiación solar media en la ciudad de Loja, es de 4050 Wh/m²/día.
- En el marco de este proyecto, para el diseño e implementación del sistema requerido, se decidió adoptar una arquitectura en la que módulos PV individuales, alimentan la iluminación interior, exterior, y, monumental, respaldados por la red pública a través de módulos individuales de transferencia.
- Para el dimensionamiento de equipos y dispositivos, se utilizó la metodología sugerida en el Atlas Solar del Ecuador con fines de generación, editado por el CONELEC.
- La inversión requerida para el montaje del sistema de iluminación, se aproximó considerando rubros tales como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje, y, se calculó en alrededor de los USD 3500.
- Para el dimensionamiento de equipos y dispositivos, se utilizó la metodología sugerida en el Atlas Solar del Ecuador con fines de generación, editado por el CONELEC.
- Se evaluó el desempeño de los colectores solares seleccionados a través del método F-Chart, recomendado en la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC 11 / Energías Renovables.

- La inversión requerida para el montaje se aproximó considerando rubros tales como adquisición de equipos, compra de materiales, y, costos de montaje, y, se calculó en alrededor de los USD 2,600.

XII. REFERENCIAS

- [1] Era del networknomics. [Online]. Disponible en: <http://www.networknomics.com/bienvenidos-a-la-era-networknomics/>
- [2] La generación C. [Online]. Disponible en: <http://www.arcauniversal.com.ar/la-generacion-c-cambiara-el-mundo-del-consumo>
- [3] ALLPE. Medio Ambiente. [Online]. Disponible en: <http://www.medioambiente.org/2012/04/una-casa-sostenible-ahorra-el-80-de.html>
- [4] The energy plus home. Villa akarp. [Online]. Disponible en: <http://www.ecomagination.com/meet-the-energy-plus-home-villa-akarp-ups-the-ante>
- [5] Casa Ecológica, Sustentable y de Bajo Costo. Casa aqua. [Online]. Disponible en: <http://www.dforceblog.com/2010/05/05/casa-ecologica-sustentable-y-de-bajo-costo/>
- [6] La innovación energética. Casa alemana. [Online]. Disponible en: http://mexiko.ahk.de/fileadmin/ahk_mexiko/Dokumente/Casa_Alemana_Broschuere_SPAN_Webversion.pdf
- [7] Arquitectura de casas. Living Space 21. [Online]. Disponible en: <http://arquitecturadecasas.blogspot.com/2008/09/lote-pequeño-casa-sustentable.html>
- [8] KEETSA. The solaleya pearl house offers sustainable energy [Online]. Disponible en: <http://keetsa.com/blog/science-and-technology/solar-power/the-solaleya-pearl-house-offers-sustainable-energy/>
- [9] Suburban Loft House Plan 02-001. [Online]. Disponible en: <http://www.freegreen.com/Free-House-Plan-Overview-New/4/Suburban-Loft-House-Plan.aspx>
- [10] CONELEC. Consejo Nacional de Electricidad. “Atlas Solar del Ecuador”. [Online]: Disponible en: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1792>
- [11] Norma Ecuatoriana NEC-11 de energías renovables. Disponible en <<http://www.cimeg.org.ec/normasne/NEC2011-CAP.14-ENERGIAS%20RENOVABLES-021412.pdf>> [consulta septiembre 2013]
- [12] “Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión”. [Online]: Disponible en: <<http://www.uv.mx/personal/jdominguez/files/2012/10/Manual-de-Instalaciones-Elctricas-en-BT-2009.pdf>> [consulta septiembre 2013]
- [13] “Tabla de caída de tensión de Green Empowerment”. [Online]: Disponible en: <http://cenicasol.chica.org.ni/wp-content/uploads/2012/09/Voltage-Drop-Sheets-Espanol.xls>
- [14] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas (utilización), Secretaría de Energía, México.
- [15] Implementación del sistema híbrido de provisión de energía para una isla experimental ubicada en el Campus San Cayetano de la UTPL. [Online]: Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/154206606/implementacion-de-un-sistema-hibrido-de-provision-de-energia-para-una-isla-experimental-ubicada-en-el-Campus-San-Cayetano-de-la-UTPL>
- [16] “Manual técnico de instalaciones eléctricas en baja tensión”. [Online]: Disponible en: <<http://www.uv.mx/personal/jdominguez/files/2012/10/Manual-de-Instalaciones-Elctricas-en-BT-2009.pdf>> [consulta septiembre 2013]
- [17] En línea: SUSTENTATOR: Calentando agua con el sol, energía solar térmica. Consultada: 10/05/2013, tomada de: <http://sustentator.com/blog-es/blog/2012/10/03/calentando-agua-con-el-sol-energia-solar-termica/>
- [18] En línea: Energy SPAIN: Energía solar térmica para calentar agua y calentadores de agua solares. Consultada: 10/05/2013, tomada de: <http://www.energy-spain.com/energia-solar/calentar-agua-solar>

- [19] Calentador de Agua CHISOL. Ficha técnica. [Online]; Disponible en: <http://www.panelessolares.ec/productos.html>
- [20] En línea: Instalaciones solares para producción de agua caliente, Consultada: 31/07/2013, tomada de: http://www.almassera.es/sites/almassera.portalesmunicipales.es/files/documentos/ordenanzasNf/solares_C.pdf
- [21] En línea: Eficiencia y Ahorro Energético: Guía técnica de agua caliente sanitaria. Consultada: 13/08/2013, tomada de: Central <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/rite/reconocidos/reconocidos/acs.pdf>
- [22] En línea: CONELEC: Atlas Solar del Ecuador con fines de: Generación Eléctrica. Consultada: 15/08/2013, tomada de http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf
- [23] En línea: Dimensionado de las instalaciones. Aspectos generales del dimensionado. Consultada: 05/11/2013, tomada de: <http://www.afta-asociacion.com/wp-content/uploads/Cap-4-Dimensionado-de-Instalaciones.pdf>
- [24] En línea: Norma Técnica Ecuatoriana: NTE INEN 1 373:2010 Segunda revisión. Consultada: 15/08/2013, tomada de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1373.2010.pdf>
- [25] En línea: Controlador Digital ATM. Especificaciones técnicas y programación. Consultada: 10/04/2014, tomada de <http://www.solenergy.cl/manuales/CONTROLADOR-DIGITAL-ATM.pdf>

2 ANEXO 2

2.1 Esquema general de las conexiones eléctricas del sistema fotovoltaico para provisión de energía a un módulo de iluminación de una vivienda de campo en la provincia de Loja.

3 ANEXO 3

3.1 Esquema general de las conexiones internas de tuberías para provisión de agua caliente sanitaria ACS.

