



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

**TITULACIÓN DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para provisión de energía en
la zona rural del cantón Loja, al sur del Ecuador**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTORES: Hidalgo García, Luis Gerardo
Román Rodríguez, Mauricio Fernando

DIRECTOR: Jaramillo Pacheco, Jorge Luis, Ing

LOJA – ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniero.

Jorge Luis Jaramillo Pacheco

DOCENTE DE LA TITULACIÓN DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

De nuestra consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: “Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para provisión de energía en la zona rural del cantón Loja, al sur del Ecuador” realizado por Hidalgo García Luis Gerardo, Román Rodríguez Mauricio Fernando, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Septiembre 2014

f) _____

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y SECIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Luis Gerardo Hidalgo García, Mauricio Fernando Román Rodríguez, declaramos ser autores del presente trabajo de fin de titulación: “Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para provisión de energía en la zona rural del cantón Loja, al sur del Ecuador”, de la Titulación de Electrónica y Telecomunicaciones, siendo Jorge Luis Jaramillo Pacheco director del presente trabajo; y eximimos 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 nuestra exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaramos 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”.

Luis Gerardo Hidalgo García
1103370753

Mauricio Fernando Román Rodríguez
1104437569

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios, que siempre ha estado de mi lado y me ha brindado salud y sabiduría para poder alcanzar diversas metas a lo largo de mi vida; de igual forma lo dedico a mis padres, por siempre haberme apoyado y guiado por el camino del bien, gracias a ellos he podido superarme cada día y de esta manera alcanzar este logro profesional, el cual espero que no sea el último sino el primero de muchos. También lo dedico a mi hermana y mis sobrinos, los cuales han influenciado en mi vida de manera positiva, y finalmente a mis amigos y compañeros que siempre se han encontrado a mi lado dándome ánimos y apoyándome.

Luis Gerardo

Dedico este trabajo a Dios, que siempre ha estado a mi lado, a mis padres, por su apoyo incondicional, por su ejemplo de superación y esfuerzo diario, y por inculcarme con su vida, los valores que necesito para alcanzar todas mis metas, a mis hermanos y amigos, que siempre estuvieron conmigo, y a aquella persona que hace especial cada momento.

Mauricio Fernando

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por brindarnos esta oportunidad, y todo lo necesario para sacar adelante esta carrera, y por siempre estar a nuestro lado. A nuestros queridos padres por todo su incondicional apoyo y esfuerzo para que llevemos a delante nuestra vida y metas.

Agradecemos al Ing. Jorge Luis Jaramillo, por ser un participe de suma importancia en la elaboración del presente proyecto, por compartir sus conocimientos, por su apoyo incondicional y por dedicar su tiempo para el éxito del mismo. A todos los docentes de la UTPL que a lo largo de esta carrera han sabido formarnos intelectual y moralmente, para poder lograr nuestro objetivo de ser los excelentes profesionales que nuestra sociedad necesita.

Por último a nuestros compañeros y amigos de aula con los cuales hemos compartido momentos de alegría durante nuestra formación universitaria. A David Aguirre, por ser un amigo y un apoyo incondicional para la realización de este proyecto, y a todas aquellas personas que de una u otra forma nos apoyaron para la consecución de nuestras metas.

Luis Gerardo Hidalgo García
Mauricio Fernando Román Rodríguez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORIA Y SECIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	x
RESUMEN	1
PALABRAS CLAVES: sistemas autónomos de energía, sistemas fotovoltaicos.....	1
ABSTRACT.....	2
KEYWORDS: autonomous power system, photovoltaic systems.....	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO I	4
DISEÑO PRELIMINAR DEL MÓDULO CENTRAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA EN LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA, AL SUR DEL ECUADOR	4
1.1. Diseño del módulo principal del sistema fotovoltaico.....	5
1.1.1. Lugar de implementación del sistema	5
1.1.2. Identificación de cargas y régimen de operación	5
1.1.3. Arquitectura propuesta para el sistema	5
1.1.3.1. Bloque PV	6
1.1.3.2. Bloque de almacenamiento	8
1.1.3.3. Bloque de distribución	12
CAPITULO II	13
INGENIERÍA DE DETALLE DEL MÓDULO CENTRAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA EN LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA.....	13
2.1. Selección de la ubicación de los módulos fotovoltaicos	14
2.2. Ingeniería de detalle de la instalación.....	16
2.2.1. Acometidas.....	16
2.2.2. Cuarto de equipos	17
2.2.3. Redes eléctricas.....	19
2.2.4. Sistemas de protección	20

2.2.5.	Sistemas de monitoreo	20
2.3.	Presupuesto preliminar de inversión	21
CAPITULO III		22
DISEÑO PRELIMINAR DEL MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR DE UNA VIVIENDA DE LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA POTENCIADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO		22
3.1.	Requerimientos generales para el módulo de iluminación exterior.....	23
3.1.1.	Ubicación.....	23
3.1.2.	Condiciones requeridas de operación.....	23
3.1.3.	Arquitectura propuesta para el módulo	23
3.2.	Diseño preliminar de los bloques del módulo de iluminación exterior	24
3.2.1.	Bloque fotovoltaico	24
3.2.2.	Bloque de almacenamiento	26
3.2.3.	Bloque de iluminación.....	29
3.2.4.	Bloque de control.....	29
CAPITULO IV		30
INGENIERÍA DE DETALLE DEL MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR DE UNA VIVIENDA DE LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA POTENCIADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO		30
4.1.	Implementación final del módulo	31
4.1.1.	Módulos fotovoltaicos.....	31
4.1.2.	Cuarto de equipos	32
4.1.3.	Acometidas.....	32
4.1.4.	Sistemas de protección y monitoreo	33
4.1.5.	Presupuesto general	34
CONCLUSIONES		35
REFERENCIAS.....		36
ANEXOS		39
ANEXO 1. OBRA CIVIL		39
ANEXO 2. DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA MÓDULO CENTRAL		39
ANEXO 3. DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXIÓN MÓDULO CENTRAL		39
ANEXO 4. ESQUEMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA		39
ANEXO 5. DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR.....		39
ANEXO 6. DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXIÓN MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR		39

ANEXO 7. PAPER: DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA EN LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA AL SUR DEL ECUADOR..... 39

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. 1. Arquitectura propuesta para el sistema fotovoltaico a implementar	6
Fig. 1. 2. Esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos de 48V	8
Fig. 1. 3. Estructura de bloque de almacenamiento	8
Fig. 1. 4. Esquema de conexión de las baterías del módulo principal	12
Fig. 2. 1. Estructura de soporte de los módulos PV distribuidos directamente sobre el suelo	15
Fig. 2. 3. Esquema de construcción de la acometida subterránea.....	17
Fig. 2. 4. Geometría de los equipos a utilizar en el cuarto de equipos	18
Fig. 2. 5. Esquema de distribución de equipos en el cuarto, I: inversor, R: regulador, PC: panel de conexión (incluye interfaz de usuario), E: extintor	18
Fig. 2. 6. Esquema de acometidas subterráneas en el cuarto de equipos	19
Fig. 3. 1. Croquis del área ocupada por la propiedad de interés en este proyecto	23
Fig. 3. 2. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema	24
Fig. 4. 1. Esquema general de la instalación del módulo.....	31
Fig. 4. 2. Esquema de conexión de los módulos PV de 24V.....	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Consumo detallado producido por los equipos existentes en la casa de huéspedes.	5
Tabla 1.2. Características técnicas panel solar VBMS245AE02 de Panasonic 24V	6
Tabla 1.3. Características técnicas regulador XANTREX MPPT XW-MPPT60-150	9
Tabla 1.4. Operación de las mayores cargas en la casa de huéspedes	10
Tabla 1.5. Operación de las cargas menores en la casa de huéspedes.....	10
Tabla 1.6. Características técnicas inversor XANTREX GridTie/OffGrid XW6048.....	10
Tabla 1.7. Características técnicas de batería Nickel Iron (Ni - Fe)	11
Tabla 2.1. Características técnicas del SMA SCCB 28 – 420 Combiner Box.....	15
Tabla 2.2. Características técnicas punta pararrayo – MTPP02	20
Tabla 2.3. Presupuesto preliminar de inversión: rubro equipamiento	21
Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del módulo PV VBMS245AE02 de Panasonic	24
Tabla 3.2. Especificaciones técnicas de la lámpara LEDEX I6063	24
Tabla 3.3. Especificaciones técnicas del regulador Xantrex Serie C PMW	27
Tabla 3.4. Especificaciones técnicas del inversor Xantrex Freedom SW 24V	27
Tabla 3.5. Especificaciones técnicas de la batería Nickel Iron (Ni-Fe)	28
Tabla 3.6. Especificaciones técnicas del sensor Steinel sensIQS.....	29
Tabla 4.1. Características técnicas del SMA SCCB 28 – 420 Combiner Box	32
Tabla 4.2. Características técnicas del Breaker PNL-30-AC/DC.....	33
Tabla 4.3. Características técnicas del Breaker THQL1150	33

RESUMEN

En este trabajo, se muestra los resultados del diseño de un sistema fotovoltaico PV autónomo para provisión de energía, destinado a alimentar con energía eléctrica a la edificación principal y a la iluminación externa de una propiedad ubicada en la zona rural del cantón Loja.

La metodología de diseño aplicada enfrenta el reto en aproximaciones sucesivas: determinación de requisitos técnicos, operativos, diseño preliminar de módulos, e, ingeniería de detalle de cada módulo.

Como resultado se describe las características técnicas del módulo PV, cargadores de batería, baterías, inversores, módulos de monitoreo y control, protecciones, y, otros equipos y dispositivos requeridos para cumplir con los requerimientos formulados. Además se presenta los esquemas eléctricos de conexión de equipos, y, los diseños de obra física requerida. Finalmente se muestra una aproximación del presupuesto de inversión.

PALABRAS CLAVES: sistemas autónomos de energía, sistemas fotovoltaicos.

ABSTRACT

This paper shows the results of the design of an autonomous PV photovoltaic system for energy supply, for feeding electricity to the main building and the external lighting of a property located in Loja.

The design methodology applied is challenged in successive approximations: identification of technical requirements, operational requirements, preliminary design of modules, and detailed engineering of each module.

The technical characteristics of the PV module, battery chargers, batteries, inverters, monitoring and control modules, shields, and other equipment required to achieve the stated requirements, are described. Besides, electrical wiring diagrams of equipment is presented, and the design of required physical work. Finally, an approximation of the investment budget is shown.

KEYWORDS: autonomous power system, photovoltaic systems.

INTRODUCCIÓN

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas. Entre las fuentes de energía renovable de mayor potencial figura la energía solar, disponible en todo el mundo y catalogada como un recurso universal que no tiene costo.

En otro plano, la posibilidad de diseñar e implementar sistemas fotovoltaicos para provisión de energía se convierte en una opción viable, considerando la amplia disponibilidad del recurso solar en la provincia de Loja, al sur del Ecuador, y, la necesidad de conservar el ecosistema de la región.

En este contexto, en la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL, se recibió un pedido de apoyo en el diseño de un sistema fotovoltaico PV autónomo para provisión de energía, destinado a proveer de energía a la edificación principal (módulo principal) y a la iluminación externa (módulo de iluminación exterior) de una propiedad ubicada en la zona rural del cantón Loja. En este trabajo, dividido en 4 capítulos, se recoge los resultados obtenidos.

En el capítulo 1 se presentan los resultados de la etapa de diseño preliminar del módulo principal, explicando los requerimientos técnicos y operativos del módulo y el procedimiento de diseño provisional de cada uno de los bloques del módulo.

En el capítulo 2 se describen los resultados de la etapa de ingeniería de detalle del módulo principal, justificando decisiones entorno a la implantación de los módulos fotovoltaicos, el diseño de acometidas hacia el cuarto de equipos, el diseño del cuarto de equipos, y, el diseño de sistemas complementarios.

En el capítulo 3 se recogen los resultados de la etapa de diseño preliminar del módulo de iluminación exterior, explicando los requerimientos técnicos y operativos del módulo y el procedimiento de diseño provisional de cada uno de los bloques del módulo.

En el capítulo 4 se presentan los resultados de la etapa de ingeniería de detalle del módulo de iluminación exterior.

CAPITULO I

DISEÑO PRELIMINAR DEL MÓDULO CENTRAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA EN LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA, AL SUR DEL ECUADOR

1.1. Diseño del módulo principal del sistema fotovoltaico

1.1.1. Lugar de implementación del sistema

El sistema a diseñar en el marco de este proyecto, se ubicará en la Hacienda San Joaquín, Provincia de Loja, cantón Loja, parroquia de Vilcabamba, barrio El Chaupi. Para la implementación se dispone de una superficie plana, de 1,81 Ha.

1.1.2. Identificación de cargas y régimen de operación

Por pedido especial del dueño de la propiedad (solicitante), el módulo principal del sistema PV deberá proveer de energía a una construcción a denominar “casa de huéspedes”. En esta construcción, se identificó como cargas a los equipos y dispositivos detallados en la Tabla 1.1. Se fijó los factores de coincidencia igual al 100 %.

Tabla 1.1. Consumo detallado producido por los equipos existentes en la casa de huéspedes.

Carga	Unidades	Potencia, W	Tiempo diario de operación, h	Consumo diario, Wh
Laptop	2	100	15	3000
Aquarium	1	30	24	720
Refrigerator	1	150	24	3600
Electric Oven	1	2000	0,3	600
LED Lights	30	5	5	750
Laundry Machine	1	800	2	1600
Speakers	1	560	12	6720
Dehydrator	1	400	12	4800
Vitalyzer	1	18	3	54
Blender	1	1500	0,1	150
Radio	1	80	6	480
Heater	1	1000	0,5	500
Juicer	1	1500	0,1	150
Extractor	1	300	0,1	30
Router	1	30	24	720
Ceiling Speakers	5	20	3	300
Iron	1	700	0,1	70
Carga pico del sistema		9193	Total	24244

Fuente: Autores

1.1.3. Arquitectura propuesta para el sistema

El sistema PV estará conformado por 3 bloques, tal como lo muestra la Fig. 1.1.



Fig. 1. 1. Arquitectura propuesta para el sistema fotovoltaico a implementar
Fuente: Autores

1.1.3.1. Bloque PV

En función del interés del solicitante, se decidió utilizar en el bloque fotovoltaico paneles solares multicristalinos tipo VBMS245AE02, de la empresa Panasonic, de 24V, cuyas principales características técnicas se muestran en la Tabla 1.2 [1].

Tabla 1.2. Características técnicas panel solar VBMS245AE02 de Panasonic 24V

Característica	Valor
Potencia máxima (Pmax), W	187
Voltaje máximo (Vmp), V	28,1
Corriente máxima (Imp), A	6,64
Voltaje de circuito abierto (Voc), V	34,7
Corriente en corto circuito (Isc), A	7,08

Fuente: <http://www.noorandsons.com.pk/solar%202.htm>

La Tabla 1.1 determina que, en la casa de huéspedes se espera un consumo diario de energía equivalente a 24244 Wh. Considerando un 5% de reserva para cubrir posibles variaciones en la demanda de energía, se decidió diseñar el módulo principal para proveer 25456 Wh/día, considerando la metodología descrita en el Atlas Solar del Ecuador editado por el CONELEC [2].

La carga en corriente continua en el sistema se estimó en 26729 Wh/día, a partir de la carga en corriente alterna, considerando un 5% de pérdidas en el proceso de conversión, como lo muestra la expresión (1):

$$CT_{CC} = CT_{CA} \times 1.05 \quad (1)$$

En dónde,

CT_{CC} , es la carga total corriente continua, Wh/día
 CT_{CA} , es la carga total corriente alterna, Wh/día

La intensidad diaria de corriente, se calculó en 556,85 Ah, a través de la expresión (2):

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

En dónde,

I_{CC} , es la intensidad de corriente diaria, A
 CT_{CC} , es la carga total corriente continua, Wh/día
 V_{CC} , es el voltaje del panel fotovoltaico, V

La intensidad de corriente diaria a considerar en el diseño, se corrigió en 584,70 Ah, considerando un factor de seguridad del 5%, tal como lo muestra la expresión (3):

$$I_{CCa} = I_{CC} \times 1,05 \quad (3)$$

La corriente pico del sistema se calcula considerando la radiación solar media (I_{CCm}) del sitio de ubicación del sistema, tal como lo muestra la ecuación (4). De acuerdo a [2], la radiación solar media en el sitio de implementación es cercana a 4,1 kWh/m²/día, con lo que la corriente pico del sistema se fijó en 142,61 A.

$$I_P = \frac{I_{CCa}}{I_{CCm}} \quad (4)$$

En dónde:

I_P , es la corriente pico del sistema, A
 I_{CCa} , es la corriente diaria corregida, A
 I_{CCm} , es la radiación solar media, kWh/m²/día

Finalmente, el número de módulos fotovoltaicos se determinó en 22, empleando la expresión (5):

$$N_{mf} = \frac{I_P}{I_{Pm}} \quad (5)$$

En dónde,

N_{mf} , es el número de módulos fotovoltaicos
 I_P , es la corriente pico del sistema, A
 I_{Pm} , es la corriente pico del módulo, A

Para cubrir los requerimientos de corriente, se decidió instalar los módulos PV en forma de un arreglo de 2 grupos, con 11 módulos en paralelo cada uno (ver Fig. 1.2).

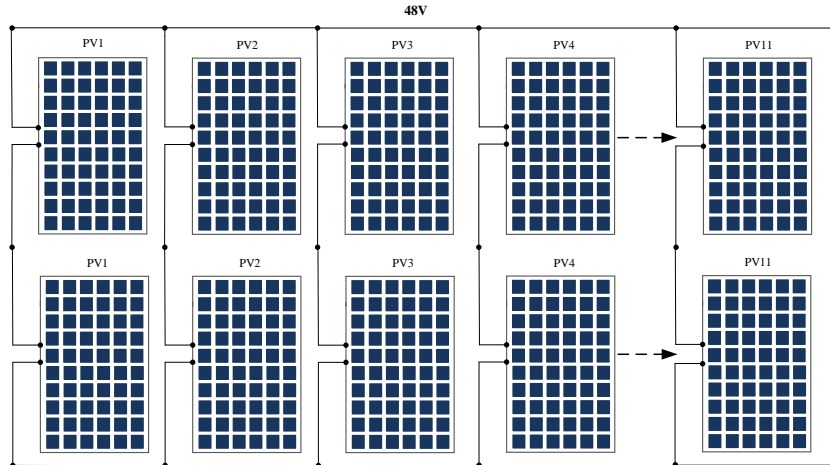


Fig. 1. 2. Esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos de 48V
Fuente: Autores

1.1.3.2. Bloque de almacenamiento

En el bloque de almacenamiento se incluye el regulador, el inversor, y, el banco de baterías (ver Fig. 1.3).

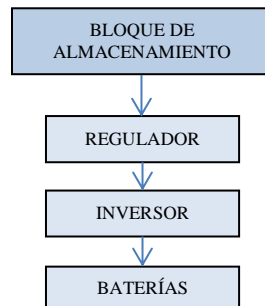


Fig. 1. 3. Estructura de bloque de almacenamiento
Fuente: Autores

El cálculo de la máxima corriente que soportará el regulador, se realizó empleando la expresión (6), considerando un 5% de reserva, obteniendo un significado de 81,77 A.

$$I_{REG} = 1,05 \times I_{SC} \times N_P \quad (6)$$

En dónde,

- I_{REG} , es la corriente máxima del regulador, A
- I_{SC} , es la corriente de cortocircuito del panel, A
- N_P , es el número de paneles en paralelo

La máxima tensión a soportar por el regulador, se calculó utilizando la expresión (7), considerando el 5 % de reserva, y, obteniendo un valor de 72,88 V.

$$V_{REG} = 1,05 \times V_{DC} \times N_s \quad (7)$$

En dónde,

- V_{REG} , es el voltaje máximo del regulador, V
- V_{DC} , es el voltaje en circuito abierto del panel, V
- N_s , es el número de paneles en serie

Considerando la corriente máxima que debe soportar el regulador, se decidió usar 2 reguladores tipo XANTREX MPPT XW-MPPT60-150 conectados en paralelo, capaces de entregar en conjunto 120 A. La Tabla 1.3 [3] muestra las características técnicas más importantes del regulador seleccionado.

Tabla 1.3. Características técnicas regulador XANTREX MPPT XW-MPPT60-150

Característica	Valor
Tensión nominal, V	12, 24, 36, 48 o 60
Corriente máxima del módulo, A	60
Consumo durante funcionamiento, W	2.5
Dimensiones, mm	368x146x138
Peso, kg	4.8
Garantía, años	5

Fuente: <http://www.technosun.com/es/productos/regulador-de-carga-XANTREX-XW-MPPT.php>

El inversor se selecciona con una potencia, lo más cercana posible a la carga pico del sistema (9193W), y, con un voltaje correspondiente al del panel fotovoltaico (48V). Ante la ausencia de un inversor con la potencia requerida, se decidió explorar el comportamiento de las cargas en la casa de huéspedes, determinando que las cargas más demandantes operan menos de una hora al día (ver Tabla 1.4), mientras que las cargas de mayor operación horaria representan unos 5000 Wh (ver Tabla 1.5). En estas condiciones, se consideró admisible la operación con un inversor XANTREX GridTie/OffGrid XW6048, de 6000W, cuyas principales características técnicas se resumen en la Tabla 1.6 [4].

Tabla 1.4. Operación de las mayores cargas en la casa de huéspedes

Carga	Unidades	Potencia, W	Tiempo de operación, h
Electric Oven	1	2000	0,3
Blender	1	1500	0,1
Heater	1	1000	0,5
Carga máxima total		4500 W	

Fuente: Autores

Tabla 1.5. Operación de las cargas menores en la casa de huéspedes

Carga	Unidades	Potencia, W	Tiempo de operación, h
Laptop	2	100	15
Aquarium	1	30	24
Refrigerator	1	150	24
LED Lights	30	5	5
Laundry Machine	1	800	2
Speakers	1	560	12
Dehydrator	1	400	12
Vitalyzer	1	18	3
Radio	1	80	6
Juicer	1	1500	0,1
Extractor	1	300	0,1
Router	1	30	24
Ceiling Speakers	5	20	3
Iron	1	700	0,1
Carga máxima total		4693 W	

Fuente: Autores

Tabla 1.6. Características técnicas inversor XANTREX GridTie/OffGrid XW6048

Característica	Valor
Potencia máxima de CC, W	6000
Potencia máxima de CC (10 s), W	12000
Voltaje CA de salida, V	120/240 +/- 3%
Frecuencia CA de salida, Hz	60 +/- 0.1%
Rango voltaje CC de entrada, V	44 – 64
Configuración múltiples unidades	3 configuración de fase dividida

Fuente: http://www.solartrader.ca/xantrex_xw_6048_6_kw_off_grid_inverte_r_en_938prod.html

El banco de baterías se dimensionó considerando la intensidad de corriente diaria corregida (I_{CCA}), y, los días de reserva, que en el marco de este proyecto se estimó en 4 días. La capacidad nominal del banco de baterías se determinó en 2338,79 Ah, utilizando la expresión (8):

$$CN_{bb} = I_{CCA} \times \text{Días}_{reserva} \quad (8)$$

En dónde,

CN_{bb} , es la capacidad nominal banco de baterías, Ah
 I_{cca} , es la intensidad de corriente diaria corregida, A

La capacidad corregida del banco de baterías, se aproximó a 2923,49 Ah, para una profundidad de descarga de la batería de 80%, empleando la expresión (9):

$$CC_{bb} = \frac{CN_{bb}}{P_d} \quad (9)$$

En dónde,

CC_{bb} , es la capacidad corregida banco de baterías, Ah
 CN_{bb} , es la capacidad nominal banco de baterías, Ah
 P_d , es la profundidad de descarga de la batería, %

Ante la insistencia del solicitante en utilizar una batería cuya vida útil sea de alrededor de 25 años, se decidió utilizar una batería tipo Ni - Fe, de 48 V, con una capacidad de 1000 Ah, conformada por 40 contenedores de 1,2 V, conectados en serie (ver Tabla 1.7 [5]).

Tabla 1.7. Características técnicas de batería Nickel Iron (Ni - Fe)

Parámetro	Valor
Voltaje, V	48
Capacidad, Ah	1000
Profundidad de descarga, %	80
Vida útil, años	Mayor a 25

Fuente: <http://ironedison.com/nickel-iron-ni-fe-battery>

El número de baterías para un arreglo en paralelo, se calculó en 3, empleando la ecuación (10):

$$N_{bp} = \frac{C_s}{C_b} \quad (10)$$

En dónde,

N_{bp} , es el número de baterías en paralelo
 C_s , es la capacidad de carga del sistema, Ah
 C_b , es la capacidad de carga de la batería, Ah

El número de arreglos de baterías en paralelo, a conectar en serie, de determinó en 1, utilizando la ecuación (11). Con la información obtenida, se estructuró el banco de baterías, tal como se muestra en la Fig. 1.4.

$$N_{bs} = \frac{T_s}{T_b} \quad (10)$$

En dónde,

N_{bs} , es el número de baterías en serie
 T_s , es la tensión del sistema, V
 T_b , es la tensión de la batería, V

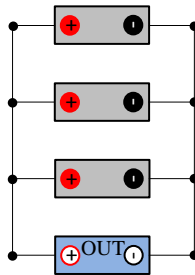


Fig. 1. 4. Esquema de conexión de las baterías del módulo principal
Fuente: Autores

1.1.3.3. Bloque de distribución

El bloque de distribución se montará en función de las necesidades internas de la casa de huéspedes.

CAPITULO II

INGENIERÍA DE DETALLE DEL MÓDULO CENTRAL DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA EN LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA

2.1. Selección de la ubicación de los módulos fotovoltaicos

En un trabajo anterior, se determinó la necesidad de implementar 22 módulos fotovoltaicos para asegurar la provisión de energía requerida. Esos módulos se distribuirían en dos filas de 11 paneles cada una (ver Fig. 2.1, ANEXO 1).

Por requerimientos del usuario final, se plantea que la instalación soporte 20 años de exposición a la intemperie y a vientos de hasta 120 km/h, y, que esté conectada a tierra de una manera eficiente y segura.

En esta fase del proyecto, se analizó 2 escenarios para la ubicación de los módulos: directamente sobre el suelo y sobre la cubierta de la vivienda principal.

En un primer escenario, se analizó las condiciones de instalación de los módulos PV directamente sobre el suelo, a una distancia no mayor a 5 m del cuarto de equipos, a fin de reducir las pérdidas en transmisión de corriente continua. Por cuanto el sistema se implementará en el paralelo 4°15'39" S, los módulos se orientarán al norte [6], soportados sobre una estructura metálica capaz de garantizar 15° de inclinación respecto a la horizontal [7].

Considerando la geometría y el peso de cada módulo [1], se aproximó la carga del arreglo sobre la estructura de soporte a 10,70 kg/m². Al incluir el peso de los elementos de interconexión, la carga se recalculó a 11,80 kg/m², por lo que requiere instalar los módulos sobre una estructura de aluminio, anclada a pilotes de hormigón.

Los módulos se interconectarán a través de un combiner box tipo SMA SCCB 28 – 420 (ver Tabla 2.1 [10]). La conexión se realizará con cables tipo Global TÜV UL 4703 de 10 AWG (15 A), con conectores hembra y macho [4]. Cada panel se instala a través de un interruptor de control IEC 194L ON – OFF para facilitar su mantenimiento [9].

Tabla 2.1. Características técnicas del SMA SCCB 28 – 420 Combiner Box

Descripción	Cantidad
Número de entradas (Pos & Neg)	28
Diámetro del cable de entrada +, AWG	10 – 6
Diámetro de cable de entrada -, AWG	10 – 6
Diámetro de cable de salida, AWG	6 – 350
Máxima entrada fusible, A, Vcc	15, 600
Máxima corriente de salida, Acc	216 – 336
Peso, kg	25,45

Fuente: http://www.sma-america.com/en_US/products/grid-tied-inverters/sunny-central/combiner-boxes.html

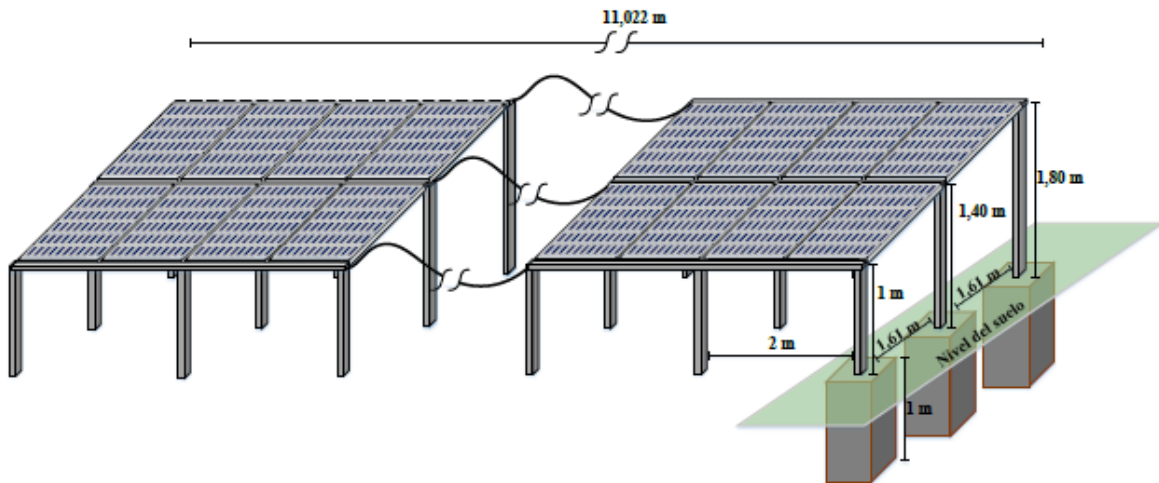


Fig. 2. 1. Estructura de soporte de los módulos PV distribuidos directamente sobre el suelo
Fuente: Autores

La estructura de soporte se fija al suelo con pilotes de hormigón tipo HA-25 de 25 N/mm² de resistencia (ver Fig. 2.1). De acuerdo a [11], se requiere la compactación previa del terreno, el vertido y compactación de una capa de piedra de 0,15 m, y, el vertido de una capa de hormigón de limpieza HM-20 de 0,1 m.

En el segundo escenario, la colocación de módulos sobre la cubierta requiere analizar aspectos como tipo de sustrato, tamaño de vigas, espaciamiento y edad de la estructura, Por otra parte, se debe prever una zona de operación para mantenimiento (ver Fig. 2.2).

Para este proyecto puntual, la cubierta debe soportar una carga estructural de 14 kg/m², que incluye el peso de los módulos, elementos de interconexión, estructura de soporte y personal de mantenimiento.

Los paneles se colocarán en forma vertical, con rieles de sujeción verticales, a fin de evitar la acumulación de agua. Los rieles se sujetan en un Quick Mount PV fabricado por

Wholesale Solar. El Quick Mount PV consta de una base de aluminio que se fija a las vigas del tejado, mientras que pies tipo L sujetan las rieles [12]. Para anclar los módulos a las rieles, se emplean dispositivos tipo Mid Clamp y End Clamp (ver Fig. 2.2) [12]. Entre módulos y cubierta deberá existir una separación de 0,15 m, que evite la transferencia directa de calor [6].

Las implicaciones técnicas de cada uno de los escenarios de ubicación de los módulos, fueron analizadas por el equipo de trabajo y el cliente, quien decidió optar por la ubicación directa sobre tierra.

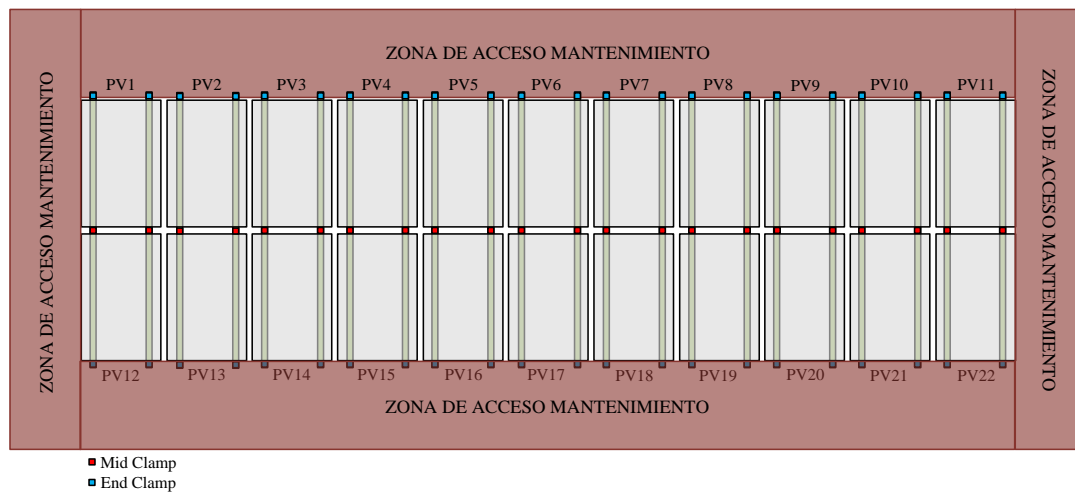


Fig. 2. 2. Esquema de sujeción al tejado de los paneles solares

Fuente: Autores

2.2. Ingeniería de detalle de la instalación

2.2.1. Acometidas

Considerando la integralidad del proyecto, se decidió que los módulos, el muro perimetral, la vivienda principal, y, el cuarto de equipos se interconecten por acometidas subterráneas colocadas en zanjas.

De acuerdo a [13], el lecho de la zanja será liso y libre de aristas vivas y piedras. Se colocará una primera capa de 0,1 m de arena de río, lavada, limpia y suelta, exenta de sustancias orgánicas, arcilla o partículas terrosas (ver Fig. 2.3). Sobre esta capa se colocará tubos de PVC flexible, corrugado en el exterior y liso en el interior, de doble pared con guía de poliéster. Se agregará una segunda capa de arena, de 0,3 m de espesor, que envuelva los tubos por completo. Sobre esta capa, se reubicará la tierra

excavada, compactada por medios manuales. Finalmente, a 0,15m de profundidad, se ubicará una cinta de señalización como advertencia de la presencia de cables eléctricos.



Fig. 2. 3. Esquema de construcción de la acometida subterránea
Fuente: Autores

La entrada y salida de cables a la zanja, se facilitará mediante pasatubos flexibles de PVC. Se colocarán arquetas al inicio y al final de las zanjas, para facilitar la revisión y direccionamiento de los cables [13].

De acuerdo a [14], el combiner box y el cuarto de equipos se conectarán a través de un cable tipo 2 AWG (95 A) para que la caída de tensión no supere el 5 %.

2.2.2. Cuarto de equipos

El cuarto de equipos se diseñó considerando la geometría de los equipos a utilizar, y, los requerimientos de operación.

En el cuarto de equipos se instalará un regulador XANTREX MPPT XW-MPPT60-150 [3], un inversor XANTREX GridTie/OffGrid XW6048 [4], un módulo de interconexión tipo XANTREX XW Power Distribution Panel 865 – 1015 [15], y, 3 baterías Nickel Iron (Ni – Fe) de 48 V y 1000 Ah. Cada batería a emplear está conformada por 40 celdas, de 64 kg de peso cada una [5]. Las celdas se distribuyen en 2 capas, una sobre otra, de 20 celdas cada una. Cada capa está conformada por 2 filas de 10 celdas. Se estimada que cada batería ocupe un área total de 1,644 m², sobre los que actuarán 2560 kg de peso. La Fig.2.4 resume la geometría de cada uno de estos equipos.

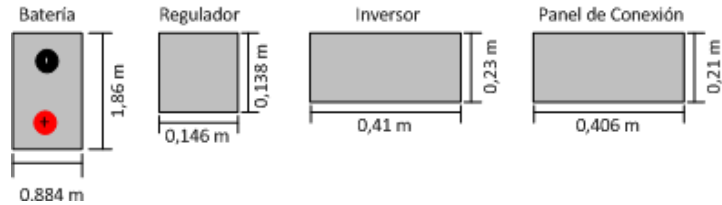


Fig. 2. 4. Geometría de los equipos a utilizar en el cuarto de equipos
Fuente: Autores

Se decidió entonces construir una edificación de 5 m x 5 m x 2,5 m. Para optimizar el área disponible, se colocará 2 baterías en la parte izquierda, y, 1 en la esquina derecha. Por razones de operación y seguridad, el acceso a las baterías se restringe para personal no capacitado. El regulador e inversor se colocarán junto a los equipos del sistema de iluminación del muro (ver Fig. 2.5). Para interacción con el usuario, se plantea la instalación de una interfaz tipo XANTREX XW System Control Panel 865 – 1050 [16]. En el cuarto, las acometidas subterráneas estarán protegidas por rejillas ubicadas en el piso (ver Fig. 2.6). Como medida de seguridad se instalará un extintor de CO₂, de una eficacia mínima de 21B. El extintor se ubicará junto a la puerta de ingreso al cuarto de equipos [13].

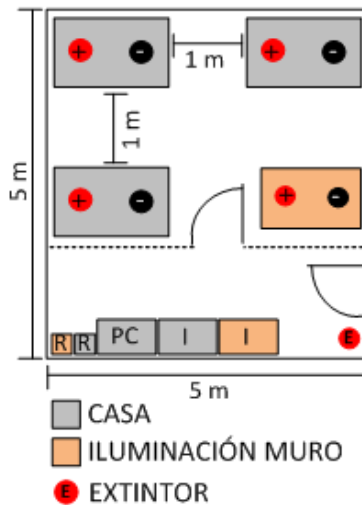


Fig. 2. 5. Esquema de distribución de equipos en el cuarto, I: inversor, R: regulador, PC: panel de conexión (incluye interfaz de usuario), E: extintor
Fuente: Autores

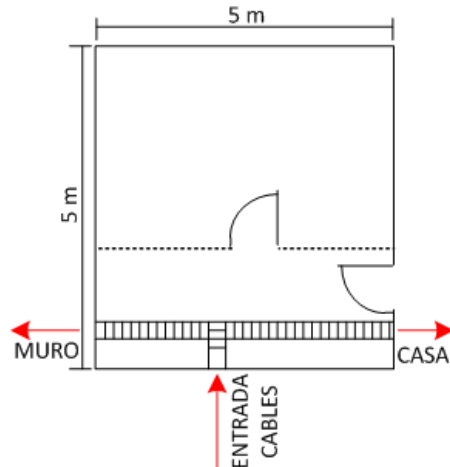


Fig. 2. 6. Esquema de acometidas subterráneas en el cuarto de equipos
Fuente: Autores

Las hojas técnicas de los equipos a instalar establecen la temperatura de operación entre -20 y 50 $^{\circ}\text{C}$, con una humedad entre 5% y 95% . Por esta razón se decidió mantener la temperatura en el interior del cuarto entre 20 y 30 $^{\circ}\text{C}$, empleando un extractor de aire tipo E 12 con una boca de aspiración de 30 cm para gestar un caudal de extracción de 2200 m^3/h , con un viento de 10 km/h [17], [18]. El recambio se realiza a través de ventanillas ubicadas en la parte inferior del cuarto, protegidas con malla para evitar el ingreso de insectos.

2.2.3. Redes eléctricas

Por requerimiento del cliente, el sistema se diseñó para un trabajo autónomo de la red eléctrica pública en un 100% , por lo cual debe ser lo suficientemente robusto.

Cable 2 AWG y breakers PNL-80-DC [19] permiten la conexión entre el combiner box y el regulador, el regulador y el arreglo de baterías, y, el regulador e inversor (ver ANEXO 2). La salida del inversor se conecta al panel de distribución de la residencia, a través de un breaker THQL1160 de General Electric y cable 2 AWG, siguiendo las especificaciones de color [20], [21]. Los cables estarán debidamente etiquetados, y se sujetarán a las paredes utilizando electrocanaletas tipo escalera a fin de evitar esfuerzos mecánicos [7], [22]. Todos los equipos y armarios estarán conectados a tierra.

La red eléctrica de la residencia, deberá ser implementada en tres secciones: iluminación, fuerza, y, cocina.

2.2.4. Sistemas de protección

El diseño del **sistema de puesta a tierra** deberá considerar las recomendaciones del fabricante Xantrex, que requiere que la resistencia de la malla sea de menos de 5 Ω .

Para **protección contra descargas eléctricas** se decidió utilizar un pararrayos tipo Franklin de tridente lateral MTPP02, cuyas características técnicas se muestran en la Tabla 2.2 [23].

Tabla 2.2. Características técnicas punta pararrayo
– MTPP02

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Material	Acero Inoxidable
Dimensiones, m	1,30x0,10
Cobertura, m	Diámetro de 120
Temperatura de operación, °C	-10 a 80
Peso con embalaje, kg	4

Fuente:http://massatierra.net/download/catalogo_massatierra.pdf

2.2.5. Sistemas de monitoreo

Se prevé la instalación de equipos adicionales para facilitar el control y supervisión del sistema. El equipo Xantrex Communications Gateway permite monitorear el desempeño de los equipos, a través de una aplicación Internet que facilita información sobre la producción de energía y fallas en los equipos [24].

El accesorio XW Automatic Generator Start permite arrancar automáticamente un generador alterno al sistema fotovoltaico ante insuficiencias en el abastecimiento eléctrico [25]. El esquema de conexión del sistema fotovoltaico se puede observar en el ANEXO 2.

2.3. Presupuesto preliminar de inversión

La Tabla 2.3 se resume el presupuesto preliminar, que cubre la inversión en equipos.

Tabla 2.3. Presupuesto preliminar de inversión: rubro equipamiento

Producto	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
XANTREX MPPT XW-MPPT60-150	1	890.00	890.00
XANTREX GridTie/OffGrid XW6048	1	5,900.00	5,900.00
XANTREX XW Power Distribution Panel 865-1015	1	2,000.00	2,000.00
XANTREX XW System Control Panel 865-1050	1	400.00	400.00
XANTREX Serie C PMW	1	200.00	200.00
Freedom SW 24 V	1	2,100.00	2,100.00
Xantrex Communication Gateway	1	650.00	650.00
XW Automatic Generator Start	1	300.00	300.00
Batería Nickel Iron (Ni-Fe) 48 V/1000 Ah	3	50,000.00	150,000.00
Batería Nickel Iron (Ni-Fe) 24 V/400 Ah	1	10,100.00	10,100.00
SMA SCCB 28-420 Combiner Box	1	1,400.00	1,400.00
SMA SCCB 6 Combiner Box	1	350.00	350.00
Panasonic Multicrystalline photovoltaic module VBMS245AE02	25	600.00	15,000.00
TOTAL			189,300.00

Fuente: Autores

CAPITULO III

DISEÑO PRELIMINAR DEL MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR DE UNA VIVIENDA DE LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA POTENCIADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

3.1. Requerimientos generales para el módulo de iluminación exterior

3.1.1. Ubicación

La propiedad de interés en este proyecto, está ubicada en la Hacienda San Joaquín, barrio El Chaupi, parroquia Vilcabamba, cantón Loja.

La propiedad limita por el sur con el río Vilcabamba, y, por el norte con un muro de 150 m de largo y 2,5 m de alto que lo separa de la vía principal de acceso de la Hacienda (ver Fig. 3.1). Es este muro el que debe ser iluminado por requerimiento del cliente.

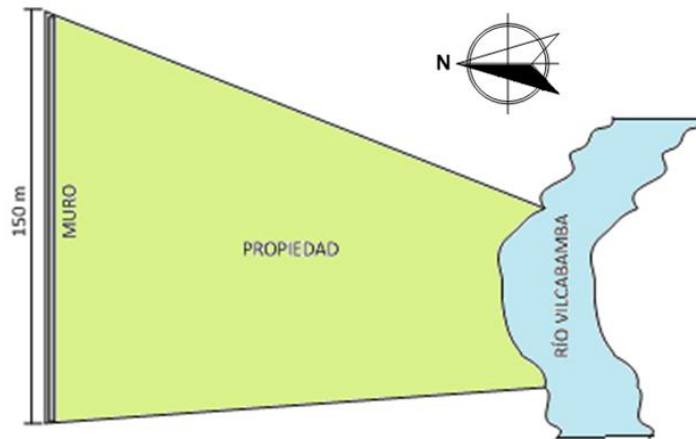


Fig. 3. 1. Croquis del área ocupada por la propiedad de interés en este proyecto
Fuente: Autores

3.1.2. Condiciones requeridas de operación

El muro se ilumina a través de 30 lámparas ubicadas a una altura de 2,5 m, con una separación de 5 m entre ellas.

Las lámparas se activarán a través sensores de movimiento. Para esto, las lámparas se agruparán en 6 grupos, activados por un sensor ubicado en la lámpara central del grupo. Una vez activado el grupo de lámparas, éste permanecerá encendido durante 35 s, tiempo suficiente para recorrer los 25 m iluminados.

3.1.3. Arquitectura propuesta para el módulo

El módulo de iluminación exterior estará compuesto por cuatro bloques (Ver Fig. 3.2): el bloque fotovoltaico generará la energía eléctrica requerida, el bloque de

almacenamiento almacenará la energía hasta que sea demandada, el bloque de control se encargará de activar las luminarias ante la presencia de peatones; y, el bloque de iluminación garantizará el nivel requerido de iluminación.

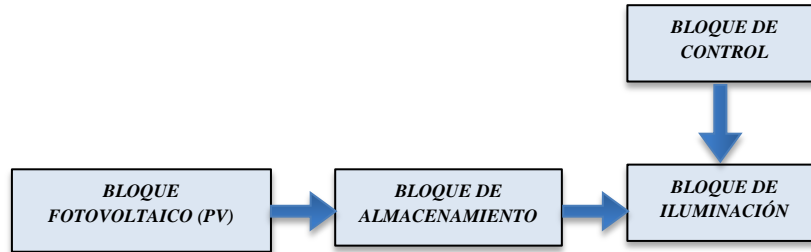


Fig. 3. 2. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema
Fuente: Autores

3.2. Diseño preliminar de los bloques del módulo de iluminación exterior

3.2.1. Bloque fotovoltaico

Por común acuerdo entre el cliente y el grupo de trabajo, se decidió utilizar módulos PV multicristalinos tipo VBMS245AE02 de Panasonic, y lámparas LED tipo LEDEX I6063, cuyas características técnicas se muestran en las tablas 3.1 [1] y 3.2 [26], respectivamente.

Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del módulo PV VBMS245AE02 de Panasonic

Característica	Valor
Potencia máxima (Pmax), W	187
Voltaje máximo (Vmp), V	28,1
Corriente máxima (Imp), A	6,64
Voltaje de circuito abierto (Voc), V	34,7
Corriente en corto circuito (Isc), A	7,08

Fuente:<http://www.noorandsons.com.pk/solar%2002.htm>

Tabla 3.2. Especificaciones técnicas de la lámpara LEDEX I6063

Característica	Valor
Voltaje, V	110-130
Número de Leds	12
Consumo de cada Led, W	1
Consumo Total, W	13
Flujo Luminoso, lm	840
Ángulo de haz, °	30
Tiempo de vida útil, h	35000

Fuente:<http://www.ledex-lights.com/index.php/led-lamp-high-power-led/ceiling-light-series-reflectores-par-30-y-par-38-led-high-power>

El número total de módulos a utilizar se calculó utilizando la metodología sugerida en el Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica, editado por el CONELEC [2].

La demanda total de energía en corriente alterna CT_{CA} , se determinó considerando el número total de lámparas, el consumo de cada una, y, el tiempo de operación. Para un máximo de 3 horas diarias de operación, la demanda total de energía se estimó en 1170 Wh/día. Considerando una reserva de energía generada, de al menos 20 %, la demanda total se recalculó en 1404 Wh/día.

La demanda de energía CT_{CA} se transformó a demanda en corriente continua CT_{CC} , considerando un margen de 5 % de pérdidas en el proceso de conversión, obteniendo un valor de 1474,2 Wh/día.

La intensidad de corriente diaria I_{cc} se determinó en 61,42 A, utilizando la expresión (11). Este valor fue recalculado, previendo un margen de seguridad de operación del sistema en 5 %, obteniendo un valor de 64,50 A.

$$I_{cc} = \frac{CT_{cc}}{V_{cc}} \quad (11)$$

En dónde:

- I_{cc} , es la intensidad de corriente diaria, A
- CT_{cc} , es la carga total corriente continua, Wh/día
- V_{cc} , es el voltaje del panel fotovoltaico, V

La corriente pico del sistema I_p se obtuvo considerando la radiación solar media en el lugar, en el peor mes del año, a través de la expresión (12). Según [2], la radiación solar media requerida es de 4,1 kWh/m²/día, por lo que I_p se calculó en 15,73 A.

$$I_p = \frac{I_{cca}}{I_{cm}} \quad (12)$$

En dónde:

- I_p , es la corriente pico del sistema, A
- I_{cca} , es la intensidad de corriente diaria corregida, A
- I_{cm} , es la radiación solar media, kWh/m²/día

Utilizando la expresión (13), se determinó el número de módulos fotovoltaicos en 3, conectados en paralelo.

$$N_{mf} = \frac{I_p}{I_{pm}} \quad (13)$$

En dónde:

N_{mf} , es el número de módulos fotovoltaicos
 I_p , es la corriente pico del sistema, A
 I_{pm} , es la corriente pico del módulo, A

3.2.2. Bloque de almacenamiento

El bloque de almacenamiento estará conformado por un regulador, un inversor, y un banco de baterías.

El **regulador** se selecciona en base a la corriente máxima y a la tensión de trabajo. La corriente máxima que soportará el regulador se calculó en 22,3 A, utilizando la expresión (14).

$$I_{REG} = 1,05 \times I_{SC} \times N_p \quad (14)$$

En dónde:

I_{REG} , es la corriente máxima del regulador, A
 I_{SC} , es la corriente de cortocircuito del panel, A
 N_p , es el número de paneles en paralelo

La tensión máxima a soportar por el regulador se estimó en 36,44 V, empleando la expresión (15). En función de los parámetros calculados, se decidió recomendar la utilización de un regulador tipo XANTREX Serie C PMW, cuyas características técnicas se presentan en la Tabla 3.3 [27].

$$V_{REG} = 1,05 \times V_{DC} \times N_s \quad (15)$$

En dónde:

V_{REG} , es el voltaje máximo del regulador, V

V_{DC} , es el voltaje en circuito abierto del panel, V
 N_s , es el número de paneles en serie

Tabla 3.3. Especificaciones técnicas del regulador Xantrex Serie C PMW

Característica	Cantidad
Voltaje nominal, V	24
Corriente máxima del módulo, A	35
Peso, kg	1,2
Garantía, años	5

Fuente: [http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=3217417&p_File_Name=C-Series-Owners-Manual_Spanish\(975-0004-05-01_rev-B\).pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=3217417&p_File_Name=C-Series-Owners-Manual_Spanish(975-0004-05-01_rev-B).pdf)

El **inversor** se selecciona en función de la potencia pico de las lámparas y del voltaje del módulo fotovoltaico. Para parámetros de 390 W y 24 V, se seleccionó el equipo XANTREX Freedom SW 24V, cuyas características técnicas se presentan en la Tabla 3.4 [28].

Tabla 3.4. Especificaciones técnicas del inversor Xantrex Freedom SW 24V

Característica	Cantidad
Potencia máxima de CC, W	2000
Pico de potencia, W	4000
Voltaje CA de salida, V	120 +/- 0,03
Frecuencia CA de salida, Hz	60 +/- 0,2
Eficiencia máxima, %	94
Rango de voltaje CC de entrada, V	20-32

Fuente: <http://www.xantrex.com/documents/Inverter-Chargers/Freedom-SW-NewGen/DS20131028-FreedomSW24V.pdf>

El **banco de baterías** se dimensiona en función de la intensidad de corriente diaria corregida (I_{CCA}) y de los días de reserva.

La capacidad nominal del banco de baterías se estimó en 257,98 Ah, utilizando la expresión (16). La capacidad corregida del banco de baterías se aproximó a través de la expresión (17), para una profundidad de descarga de la batería del 80%, obteniendo un valor de 322,49 Ah.

$$CN_{bb} = I_{CCA} \times Dias_{reserva} \quad (16)$$

En dónde:

CN_{bb} , es la capacidad nominal banco de baterías, Ah

I_{cca} , es intensidad de corriente diaria corregida, A

$$CC_{bb} = \frac{CN_{bb}}{P_d} \quad (17)$$

En dónde:

CC_{bb} , es capacidad corregida banco de baterías, Ah
 CN_{bb} , es la capacidad nominal banco de baterías, Ah
 P_d , es la profundidad de descarga de la batería, %

Considerando el requerimiento del cliente en torno a que la batería posea una vida útil igual o superior a 25 años, se decidió recomendar la batería Nickel Iron (Ni-Fe) Battery, de 24 V y 400 Ah (ver Tabla 3.5 [5]). Esta batería está compuesta por 20 contenedores de 1,2 V conectados en serie.

Tabla 3.5. Especificaciones técnicas de la batería Nickel Iron (Ni-Fe)

Característica	Cantidad
Voltaje, V	24
Capacidad, Ah	400
Profundidad de descarga, %	80
Vida útil, años	mayor a 25

Fuente: <http://ironedison.com/nickel-iron-ni-fe-battery>

El número de baterías en cada arreglo en paralelo, se determina por la expresión (18), mientras que el número de arreglos en paralelo de baterías a conectarse en serie se aproxima por la expresión (19). Los resultados muestran que se requiere de una sola batería para satisfacer las exigencias de este proyecto.

$$N_{bp} = \frac{C_s}{C_b} \quad (18)$$

En dónde:

N_{bp} , es el número de baterías en paralelo
 C_s , es la capacidad de carga del sistema, Ah
 C_b , es la capacidad de carga de la batería, Ah

$$N_{bs} = \frac{T_s}{T_b} \quad (19)$$

En dónde:

N_{bs} , es el número de baterías en serie
 T_s , es la tensión del sistema, V
 T_b , es la tensión de la batería, V

3.2.3. Bloque de iluminación

Se utilizará lámparas tipo LEDEX I6063, las mismas que cumplen con el requisito de tiempo de vida útil establecido por el cliente. Las características técnicas de esta luminaria se muestran en la Tabla 3.2.

Dado que este sistema de iluminación se utiliza sobre una vía pública, se decidió utilizar la regulación CONELEC 008/11 para la prestación del servicio de alumbrado público. Considerando que la vía puede clasificarse como de orden peatonal, la iluminancia promedio deberá ser del orden 2 lx, con un mínimo de 0,4 lx [29]. El cumplimiento de la norma se validó a través de mediciones de iluminancia de la lámpara seleccionada, empleando un luxómetro tipo Lutron LX-102; se obtuvo como resultado de la medición un valor de 4 lx a una distancia de 5 m de la lámpara y una altura de 1,5 m.

3.2.4. Bloque de control

Como sensor de movimiento se utilizará el modelo Steinel sensIQS, que cumple con IP54 suficiente para garantizar su protección ante lluvia e insectos [30]. Las características técnicas del sensor, se presentan en la Tabla 3.6 [31].

Tabla 3.6. Especificaciones técnicas del sensor Steinel sensIQS

Característica	Cantidad
Voltaje, V	110-240
Frecuencia, Hz	50-60
Tipo de Sensor	Infrarrojo Pasivo
Ángulo de detección, °	300
Máx. Distancia de detección, m	20
Clase de Protección	IP54

Fuente: <http://www.steinel-professional.de/Motion-Detectors/Overview-Motion-Detectors/sensIQ-S-White.html>

CAPITULO IV

INGENIERÍA DE DETALLE DEL MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR DE UNA VIVIENDA DE LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA POTENCIADO POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

4.1. Implementación final del módulo

4.1.1. Módulos fotovoltaicos

En el marco de este proyecto, se decidió concentrar la generación fotovoltaica en una “granja solar”, ubicada a una distancia no mayor a 5 m del cuarto de equipos (ver Fig. 4.1, ANEXO 4).

Los 3 módulos PV requeridos para alimentar el módulo de iluminación exterior, se conectan a través de un equipo SMA SBCB 6 Combiner Box (ver Fig. 4.2), que combina las entradas provenientes de los módulos en una sola salida de corriente continua (ver Tabla 4.1 [32]). La instalación se realizará utilizando cables tipo Global TÜV and UL 4703, equivalentes a cables 10 AWG [8].

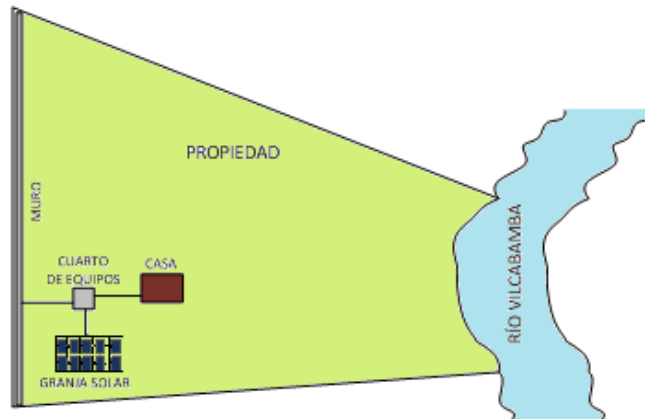


Fig. 4. 1. Esquema general de la instalación del módulo
Fuente: Autores

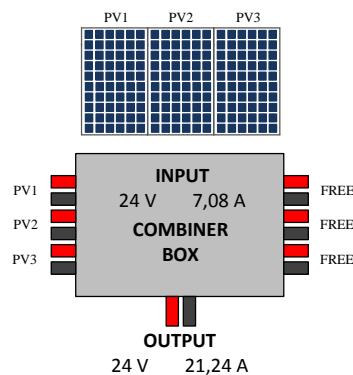


Fig. 4. 2. Esquema de conexión de los módulos PV de 24V
Fuente: Autores

Tabla 4.1. Características técnicas del SMA
SCCB 28 – 420 Combiner Box

Descripción	Cantidad
Número de entradas (Pos & Neg)	6
Tamaño del cable de entrada +, AWG	10 – 6
Tamaño de cable de entrada -, AWG	10 – 6
Tamaño de cable de salida, AWG	6 – 350
Máxima entrada fusible, A, Vcc	15, 600
Máxima corriente de salida, Acc	72
Peso, kg	5

Fuente: http://www.sma-america.com/en_US/products/grid-tied-inverters/sunny-central/combiner-boxes.html

Los módulos PV y sus estructuras de soporte se anclarán al suelo a través de pilotes de hormigón tipo HA-25.

4.1.2. Cuarto de equipos

Para alimentar el módulo de iluminación exterior, se utilizará el regulador XANTREX Serie C PMW, de 0,203 x 0,127 x 0,064 m [27]. Como inversor se empleará el Freedom SW 24 V, de 0,3 x 0,435 x 0,522 m [28]. Se empleará el mismo panel de conexión, tanto para alimentación del módulo central como del módulo de iluminación exterior.

Para alimentar al módulo de iluminación exterior, se empleará una batería Nickel Iron (Ni – Fe) de 24 V y 400 Ah, conformada por 20 celdas, de 1,2 V cada una y 400 Ah; cuyas dimensiones son 0,138 m de ancho y 0,276 m de lado, con un peso de 23 kg [5]. Las 20 celdas que conforman la batería se ubicaron en dos filas, de 10 baterías cada una, 10 en el frente y 10 en la parte posterior. El peso total de la batería se calculó en 460 kg. Se estimó que la batería ocupará un área de 0,9 m².

Todos estos equipos se ubicarán en el cuarto de equipos, compartido entre el módulo central y el módulo de iluminación exterior. La interfaz de control para el cliente será también común.

4.1.3. Acometidas

Las ducterías para las acometidas desde la granja solar hacia el cuarto de equipos, se diseñarán y construirán de acuerdo a los criterios explicados en trabajos anteriores.

El combiner box se conectará al regulador en el cuarto de equipos a través de cable 6 AWG y de un breaker PNL-30-AC/DC (ver Tabla 4.2 [33]).

Tabla 4.2. Características técnicas del Breaker PNL-30-AC/DC

Descripción	Cantidad
Amperaje, A	30
Número de polos	1
Voltaje, Vcc	Hasta 150
Temperatura de operación, °C	-40 a + 65

Fuente: http://www.outbackpower.com/outback-products/integration-hardware/item/panel-mount?category_id=451

El panel de conexión y el regulador, el panel de conexión y la batería; y, el panel de conexión y el inversor, se conectarán utilizando usando cable 6 AWG. En las conexiones regulador – batería y batería – inversor, como protección extra se utilizará breakeres tipo PNL-30-AC/D.

La salida del inversor se conectará mediante un breaker tipo THQL2150 de General Electric (ver Tabla 4.3 [34]).

Tabla 4.3. Características técnicas del Breaker THQL1150

Descripción	Cantidad
Amperaje, A	50
Número de polos	2
Voltaje, Vca	120/240
Temperatura de operación, °C	-40 a + 65

Fuente: http://www.geenergy.com/products_and_services/products/circuit_breakers/residential_circuit_breakers.jsp

Las consideraciones para el etiquetado y sujeción de cables dentro del cuarto, serán las mismas adoptadas para el módulo central.

La caja de distribución del cuarto de equipos se conectará con la caja de distribución del muro, por medio de cable 6 AWG.

4.1.4. Sistemas de protección y monitoreo

Los sistemas de puesta a tierra y de protección contra descargas eléctricas serán los mismos empleados en el módulo central. Los sistemas de monitoreo serán los mismos empleados en el módulo central.

4.1.5. Presupuesto general

El presupuesto de implementación de equipos para el módulo de iluminación exterior se incluyó en el presupuesto de implementación del módulo central. El esquema de conexión de los módulos PV y equipos adicionales en el módulo de iluminación exterior se puede observar en el ANEXO 5.

CONCLUSIONES

- Se ha diseñado el módulo principal de un sistema fotovoltaico autónomo para provisión de energía, destinado a proveer de energía a una vivienda en la zona rural de la provincia de Loja.
- El sistema se diseñó basado en una arquitectura de 3 bloques: fotovoltaico, almacenamiento de energía, y, de distribución.
- Los equipos preseleccionados corresponden a requerimientos de amplia autonomía y vida útil.
- En este trabajo se ha diseñado a detalle un sistema capaz de operar en forma independiente de la red eléctrica pública.
- Se ha considerado dos posibles escenarios para la ubicación de los paneles solares: directamente sobre el suelo y sobre el tejado de la residencia principal. La decisión final la ha tomado el cliente y se relaciona al primer escenario.
- Desde la perspectiva de la integralidad del sistema, se ha optado por canalización subterránea para conectar los módulos, el cuarto de equipos, el muro, y, la vivienda.
- El cuarto de equipos se ha diseñado considerando las dimensiones de cada uno de los equipos, y, las condiciones de operación, mantenimiento y protección de los mismos.
- Adicionalmente se ha propuesto el empleo de algunos accesorios adicionales para el monitoreo y respuesta ante fallos del sistema.
- Se ha diseñado el módulo de iluminación exterior, destinado a iluminar un muro de 150 m de largo, en la zona rural de la provincia de Loja.
- El sistema se diseñó basado en una arquitectura de 4 bloques: fotovoltaico, almacenamiento de energía, control, e, iluminación.
- En este trabajo se ha diseñado a detalle el módulo de iluminación externa de una vivienda rural, potenciado por energía fotovoltaica desde un sistema autónomo.

REFERENCIAS

- [1] NOOR AND SONS, noorandsons.com.pk, "PANASONIC *Multicrystalline photovoltaic module VBMS245AE02*", [en línea] <<http://www.noorandsons.com.pk/solar%202.htm>> [Consulta de 14 de Febrero 2014]
- [2] CONELEC, conelec.gov.ec, "Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica", [en línea] <http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf> [Consulta de 15 de Febrero 2014]
- [3] TECHNO SUN, technosun.com, "Regulador Maximizador 60^a-12/24/48/60V XW-MPPT60-150 SCHNEIDER", [en línea] <<http://www.technosun.com/es/productos/regulador-de-carga-XANTREX-XW-MPPT.php>> [Consulta de 15 de Febrero 2014]
- [4] SOLARTRADER.CA, solartrades.ce, "Xantrex XW6048 6000 Watt Inverter/Charger 48V 100^a Charger", [en línea] <http://www.solartrader.ca/xantrex_xw_6048_6_kw_off_grid_inverter_en_938prod.html> [Consulta de 16 de Febrero 2014]
- [5] IRON EDISON, ironedison.com, "Batteries / Nickel Iron (Ni-Fe) Battery", [en línea] <<http://ironedison.com/nickel-iron-ni-fe-battery>> [Consulta de 16 de Febrero 2014]
- [6] H. Gasquet, *Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos*, Solartronic, 2004.
- [7] "Universal Technical Standard for Solar Home Systems" Thermie B SUP 995-96, EC – DGXVII, 1998 [Consulta de 14 de Febrero 2014]
- [8] Catalogo 3-1773458-6, Connectivity Systems for PV Installers, TE Connectivity, Schaffhausen, Suiza, 2011
- [9] ROCKWELL AUTOMATION, ab.com, "Interruptores de control y carga Boletín 194L", [en línea] <<http://www.ab.com/es/epub/catalogs/12768/229240/229254/3170945/229537/Introducci-n.html>> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [10] SMA SOLAR TECHNOLOGY, sma-america.com, "SUNNY BOY/SUNNY CENTRAL COMBINER BOXES", [en línea] <http://www.sma-america.com/en_US/products/grid-tied-inverters/sunny-central/combiner-boxes.html> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [11] UPC, upcommons.upc.edu, "Cimentación corrido de la estructura de soporte de los paneles solares", [en línea] <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/15465/22/17%20Cimentaci%C3%B3n%20m%C3%B3dulos%20solares.pdf>> [Consulta de 28 de Abril 2014]
- [12] WHOLESAL SOLAR, wholesalesolar.com, "Wholesale Solar's Comprehensive Guide: IronRidge Rails with the Wiley WEEB Ground System including optional QuickMount Flashing", [en línea] <www.wholesalesolar.com/mounts.html> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [13] R. Guardiola, "Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica de 1,1 MW", Tesis, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España, 2008.
- [14] VIAKON, viakon.com, "Alambres y Cables THWN/THHN 600 V, 75/90 °C", [en línea] <<http://www.viakon.com/pdf/categorias/24.pdf>>

- [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [15] ALTESTORE, atestore.com, “*XW Power Distribution Panel*”, [en línea] <<http://www.altestore.com/mmsolar/others/XW-PDP.pdf>> [Consulta de 29 de Marzo 2014]
- [16] ALTESTORE, atestore.com, “*XANTREX XW System Control Panel 865 – 1050*”, [en línea] <<http://www.altestore.com/store/Inverters/Inverter-Accessories/Xantrex-Inverter-Accessories/Xantrex-XW-System-Control-Panel-865-1050/p5947/>> [Consulta de 30 de Marzo 2014]
- [17] ECOSISTEMA, extractoreseolicos.com.ar, “*extractores eólicos*”, [en línea] <<http://www.extractoreseolicos.com.ar/modyap.htm>> [Consulta de 29 de Marzo 2014]
- [18] JARNUC CIA. LTDA., jarnuc.com, “*Extractores Domésticos*”, [en línea] <<http://www.jarnuc.com/productos/eolicos-domesticos.html>> [Consulta de 30 de Marzo 2014]
- [19] OUT BACK POWER, outbackpower.com, “*Contact OutBack for PN*”, [en línea] <http://www.outbackpower.com/outback-products/integration-hardware/item/panel-mount?category_id=451> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [20] *Código Eléctrico Nacional*, CPE INEN 019, 2001.
- [21] GENERAL ELECTRIC, ge-energy.com, “*Residential Circuit Breakers*”, [en línea] <http://www.geenergy.com/products_and_services/products/circuit_breakers/residential_circuit_breakers.jsp> [Consulta de 14 de Marzo de 2014]
- [22] POLIPROYECTOS ELECTRICIDAD, poliproyectoselectricidad.com, “*ELECTROCANALES*”, [en línea] <<http://poliproyectoselectricidad.com/electrocanales/electrocanales.htm>> [Consulta de 12 de Abril de 2014]
- [23] MASS@TIERRA, massatierra.net, “*CATÁLOGO DE PRODUCTOS*”, [en línea] <http://massatierra.net/download/catalogo_massatierra.pdf> [Consulta de 24 de Marzo de 2014]
- [24] APSCEDAR, apscedar.com, “*Xantrex Communications Gateway*”, [en línea] <<http://www.apscedar.com/Xantrex-Comm-Gateway.pdf>> [Consulta de 12 de Abril 2014]
- [25] ALTESTORE, atestore.com, “*XW Automatic Generator Start*”, [en línea] <<http://www.altestore.com/mmsolar/others/XW-AGS.pdf>> [Consulta de 12 de Abril 2014]
- [26] LEDEX, ledex-lights.com, “*Led Lamp – Ceiling Light Series – High Power Led*”, [en línea] <<http://www.ledex-lights.com/index.php/led-lamp-high-power-led/ceiling-light-series-reflectores-par-30-y-par-38-led-high-power>> [Consulta de 13 de Febrero de 2014]
- [27] SCHNEIDER, schneider-electric.com, “*TRACE Serie C Reguladores de CC multifunción*”, [en línea] <[http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=3217417&p_File_Name=C-Series-Owners-Manual_Spanish\(975-0004-05-01_rev-B\).pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=3217417&p_File_Name=C-Series-Owners-Manual_Spanish(975-0004-05-01_rev-B).pdf)> [Consulta de 29 de Marzo de 2014]

- [28] XANTREX, xantrex.com, "Inverter/Charger Freedom SW-24V (2000W & 3000W)", [en línea] <<http://www.xantrex.com/documents/Inverter-Chargers/Freedom-SW-NewGen/DS20131028FreedomSW24V.pdf>> [Consulta de 29 de Marzo de 2014]
- [29] CONELEC, conelec.gov.ec, "Prestación del Servicio de Alumbrado Público General (Regulación No. CONELEC 008/11)" [en línea] <http://www.conelec.gov.ec/normativa_detalle.php?cd_norm=393> [Consulta de 13 de Febrero de 2014]
- [30] Rein Medical, reinmedical.com, "CLASES DE PROTECCIÓN IP", [en línea] <<http://www.reinmedical.com/es/conocimientos-tecnologia/clases-de-proteccion-ip.html>> [Consulta de 31 de julio de 2014]
- [31] STEINEL, steinel-professional.de, "Infrared motion detector sensIQS", [en línea] <<http://www.steinel-professional.de/Motion-Detectors/Overview-Motion-Detectors/sensIQ-S-White.html>> [Consulta de 13 de Febrero de 2014]
- [32] SMA SOLAR TECHNOLOGY, sma-america.com, "SUNNY BOY/SUNNY CENTRAL COMBINER BOXES", [en línea] <http://www.sma-america.com/en_US/products/grid-tied-inverters/sunny-central/combiner-boxes.html> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [33] OUT BACK POWER, outbackpower.com, "Contact OutBack for PN", [en línea] <http://www.outbackpower.com/outback-products/integration-hardware/item/panel-mount?category_id=451> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [34] GENERAL ELECTRIC, ge-energy.com, "Residential Circuit Breakers", [en línea] <http://www.geenergy.com/products_and_services/products/circuit_breakers/residential_circuit_breakers.jsp> [Consulta de 14 de Marzo de 2014]

ANEXOS

ANEXO 1. OBRA CIVIL

ANEXO 2. DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA MÓDULO CENTRAL

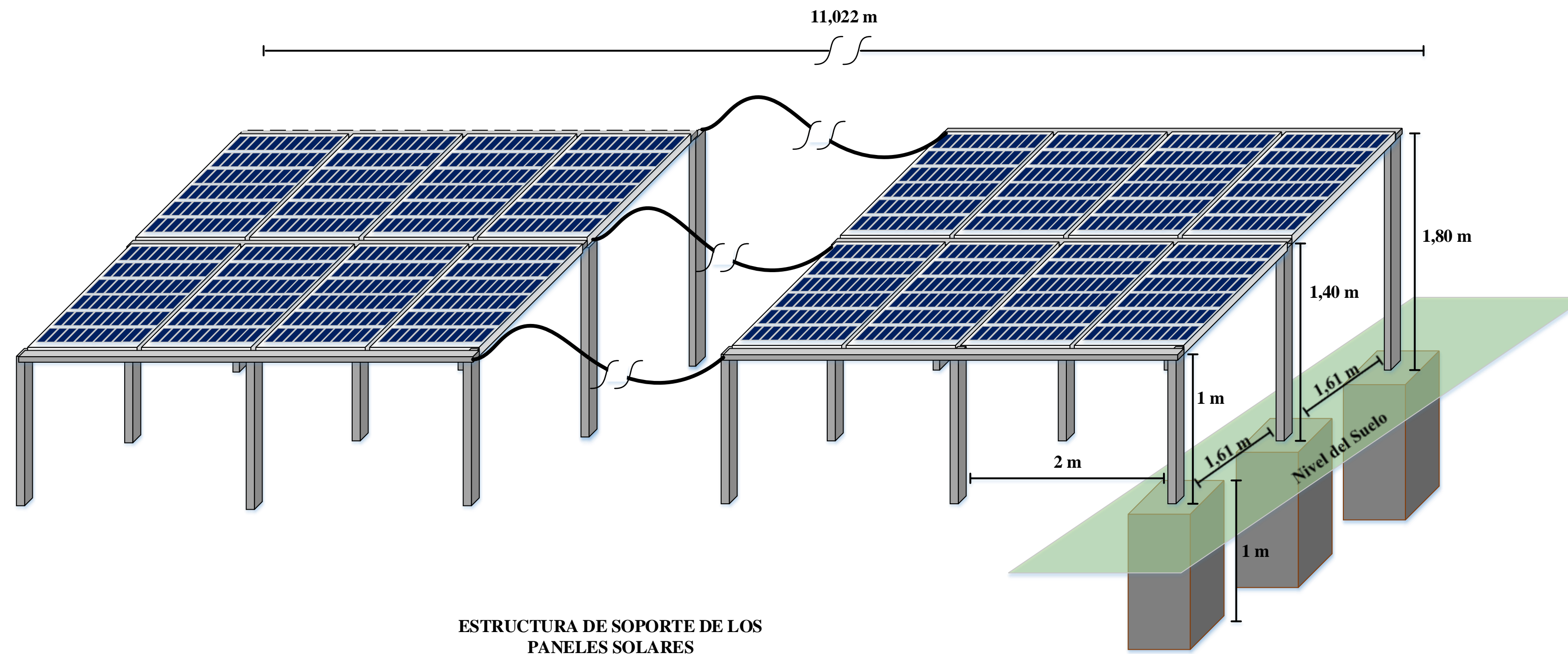
ANEXO 3. DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXIÓN MÓDULO CENTRAL

ANEXO 4. ESQUEMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA

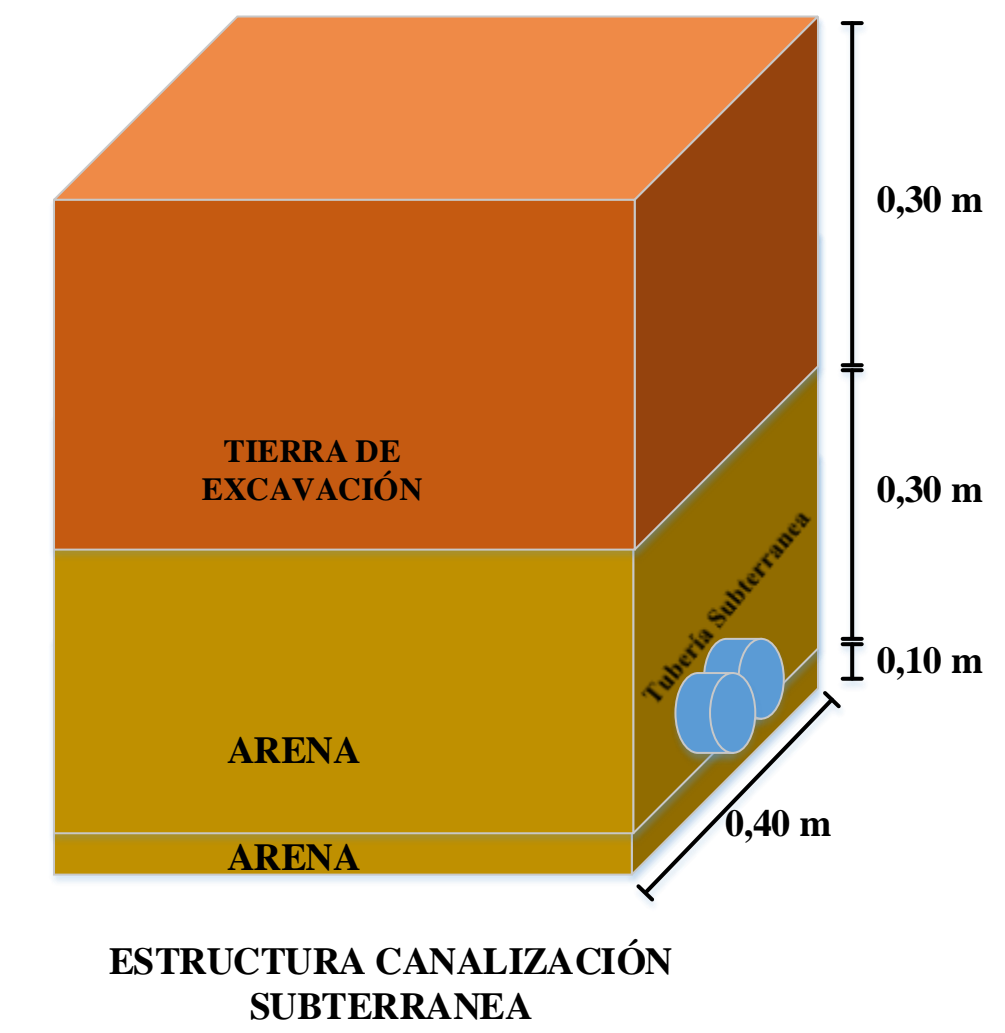
ANEXO 5. DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR

ANEXO 6. DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXIÓN MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR

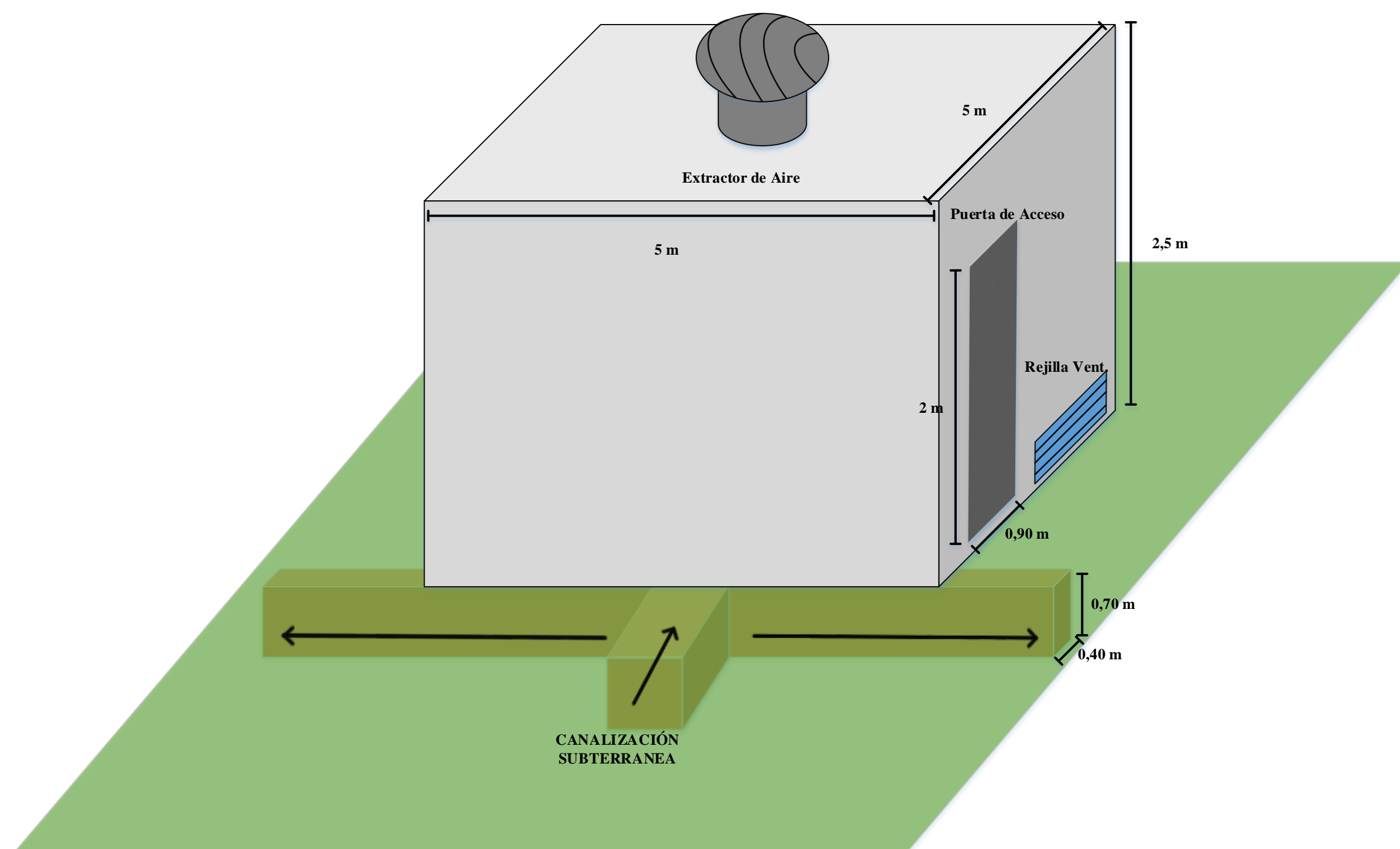
ANEXO 7. PAPER: DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA PROVISIÓN DE ENERGÍA EN LA ZONA RURAL DEL CANTÓN LOJA AL SUR DEL ECUADOR



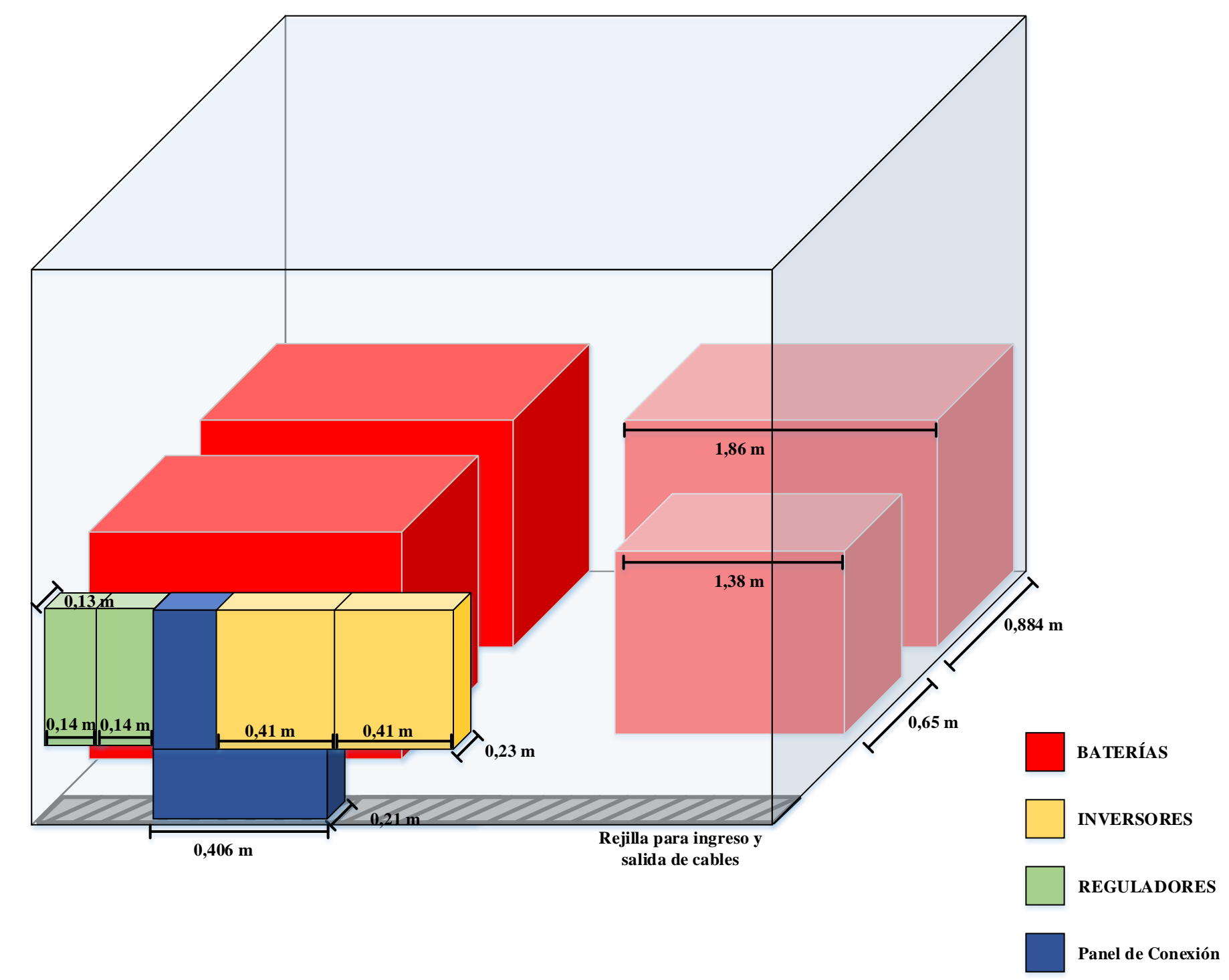
ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES



ESTRUCTURA CANALIZACIÓN SUBTERRANEA



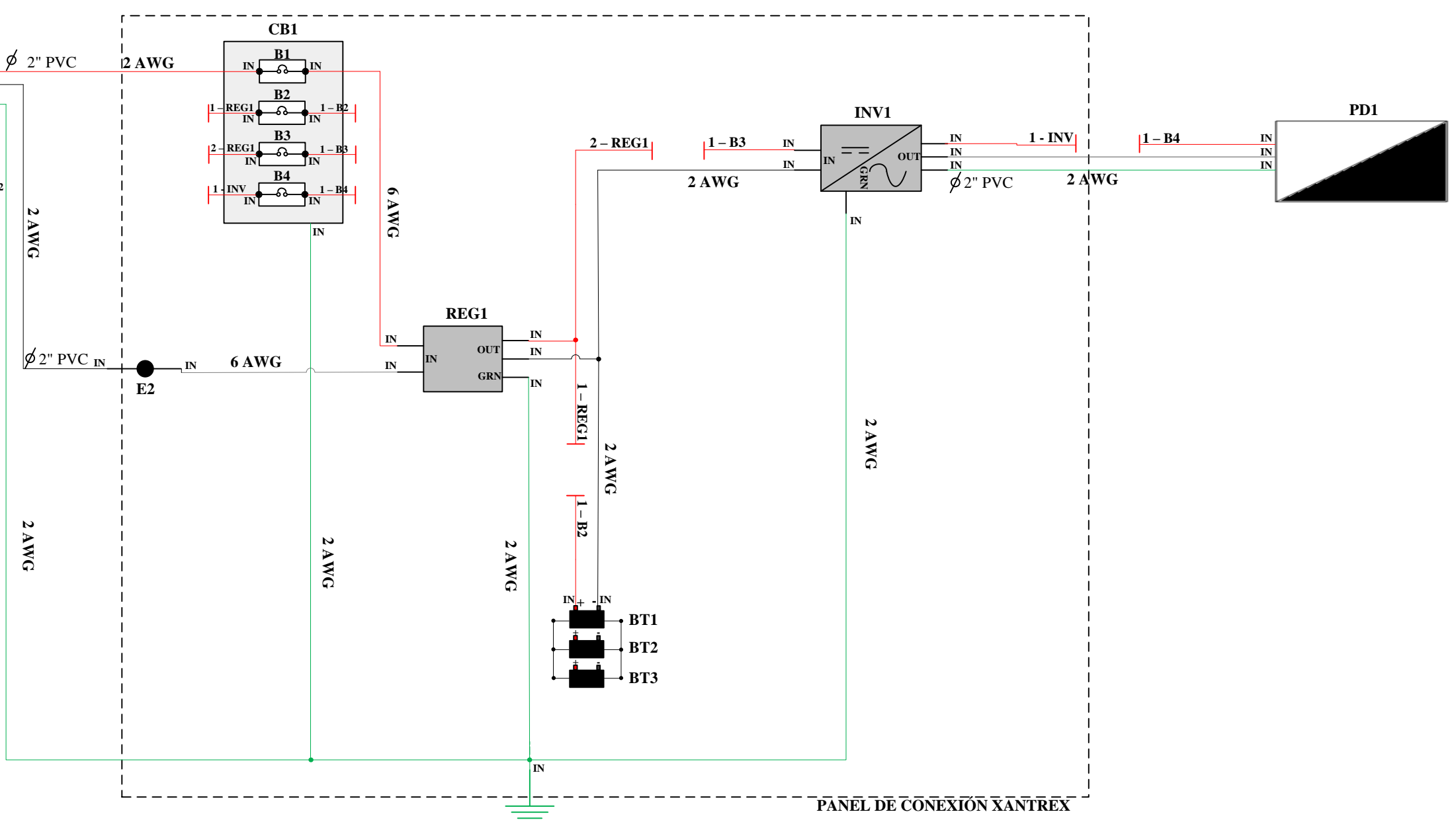
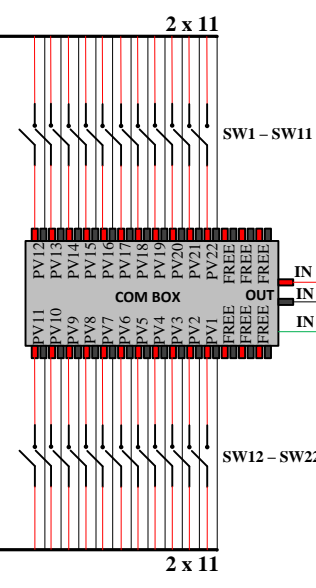
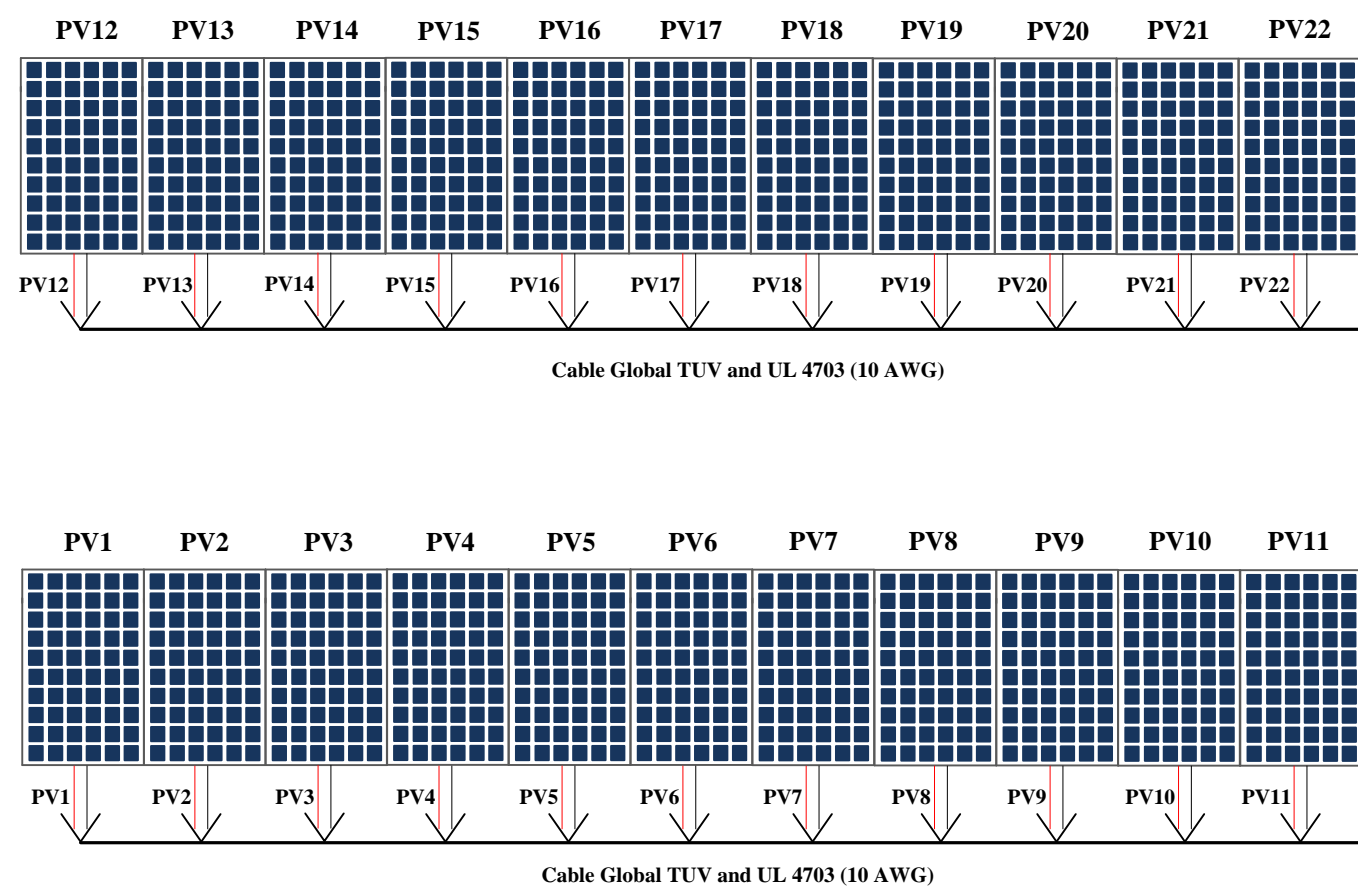
CUARTO DE EQUIPOS



UBICACIÓN DE EQUIPOS DENTRO DEL CUARTO

- BATERÍAS
- INVERSORES
- REGULADORES
- Panel de Conexión

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA		
TITULACIÓN: ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES	SECTOR: ELECTRÓNICA Y ENERGÍA	ESCALA: NINGUNA
PROYECTO: OBRA CIVIL	AUTORES: - Luis Gerardo Hidalgo García - Mauricio Fernando Román Rodríguez	FECHA: JULIO 2014
	REVISADO POR: Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco	LÁMINA: 1 1

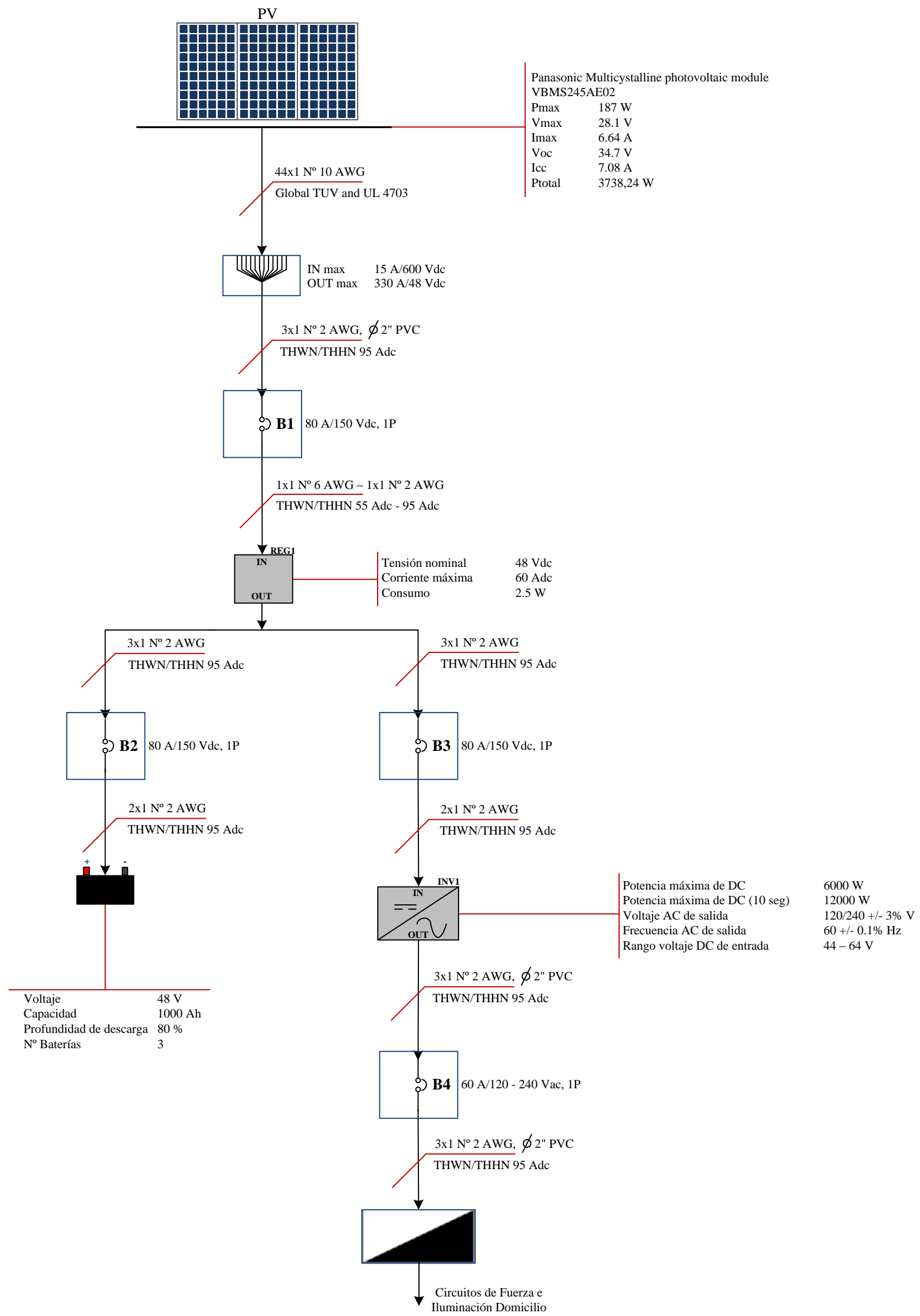


SIMBOLOGÍA EMPLEADA	
	PANEL SOLAR (PV)
	COMBINER BOX
	EMPALME HOMOLOGADO
	SWITCH
	CAJA DE BREAKERS
	BREAKER PNL-80-DC
	BREAKER THQL1160
	BREAKER PNL-80-DC
	BREAKER PNL-80-DC
	REGULADOR XANTREX MPPT XW-MPPT60-150
	INVERSOR XANTREX GRIDTIE-OFFGRID XW6048
	ARREGLO DE BATERÍAS NICKEL IRON (NI - FE) DE 48 V/1000 AH
	PANEL DE DISTRIBUCIÓN DE LA CASA
	PANEL DE CONEXIÓN XANTREX XW POWER DISTRIBUTION PANEL 865-1015

	Cable 2 AWG
	Cable 2 AWG
	Cable 2 AWG
	Cable 6 AWG
	Cable 6 AWG

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA		
	TITULACIÓN: ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES	SECCIÓN: ELECTRÓNICA Y ENERGÍA	ESCALA: NINGUNA
	AUTORES: - Luis Gerardo Hidalgo García - Mauricio Fernando Román Rodríguez		FECHA: JULIO/2014
	PROYECTO: DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA MÓDULO CENTRAL		LAMINA: 1
REVISADO POR: Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco			


DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXIÓN

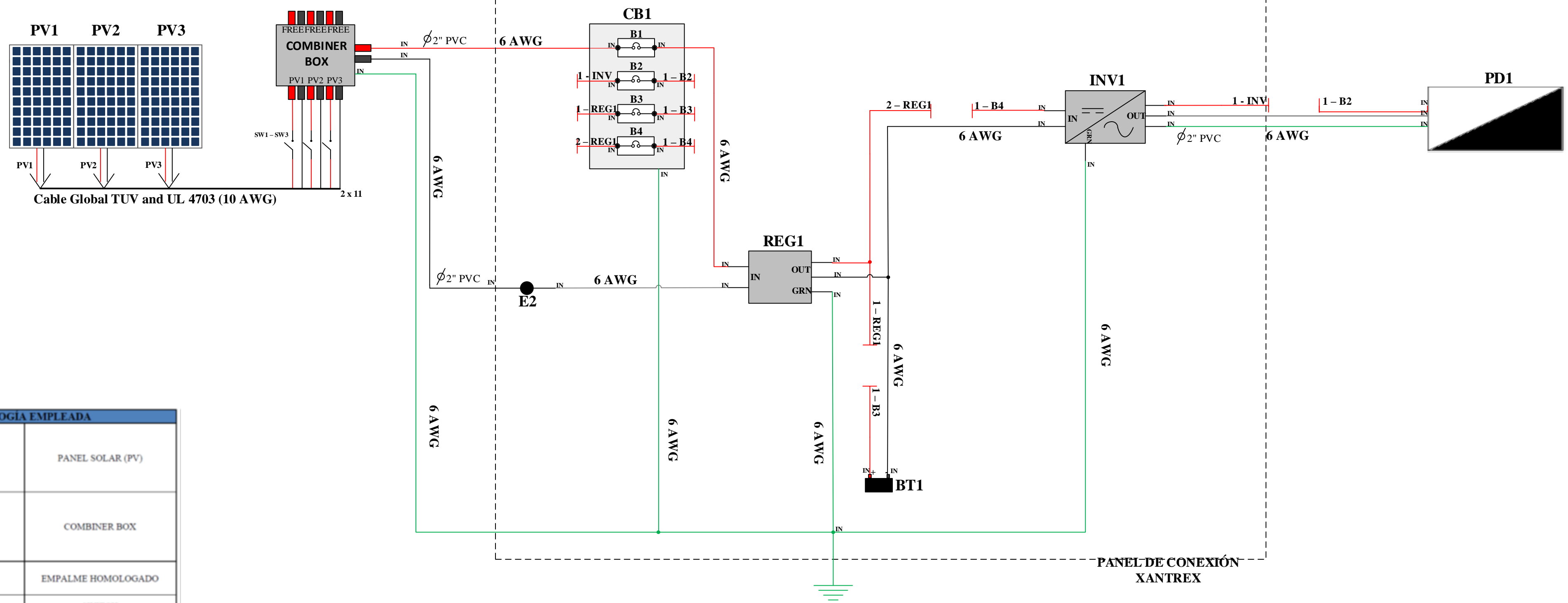


SIMBOLOGÍA EMPLEADA	
	PANEL SOLAR (PV)
	COMBINER BOX
	BREAKER
	REGULADOR XANTREX MPPT XW-MPPT60-150
	ARREGLO DE BATERÍAS NICKEL IRON (NI - FE)
	INVERSOR XANTREX GRIDTIE/OFFGRID XW6048
	PANEL DE DISTRIBUCIÓN DE LA CASA

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA		
TITULACIÓN: ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES	SECCIÓN: ELECTRÓNICA Y ENERGÍA	ESCALA: NINGUNA
PROYECTO: DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXIÓN MÓDULO CENTRAL	AUTORES: - Luis Gerardo Hidalgo García - Mauricio Fernando Román Rodríguez	FECHA: JULIO/2014
	REVISADO POR: Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco	LAMINA: 1



	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA		
	TITULACIÓN: ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES	SECCIÓN: ELECTRÓNICA Y ENERGÍA	ESCALA: NINGUNA
	PROYECTO: ESQUEMA GENERAL DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA	AUTORES: - Luis Gerardo Hidalgo Garcia - Mauricio Fernando Román Rodríguez	FECHA: JULIO/2014
		REVISADO POR: Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco	LAMINA: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; font-size: 2em; font-weight: bold;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; font-size: 0.8em; font-weight: bold;">1</div>

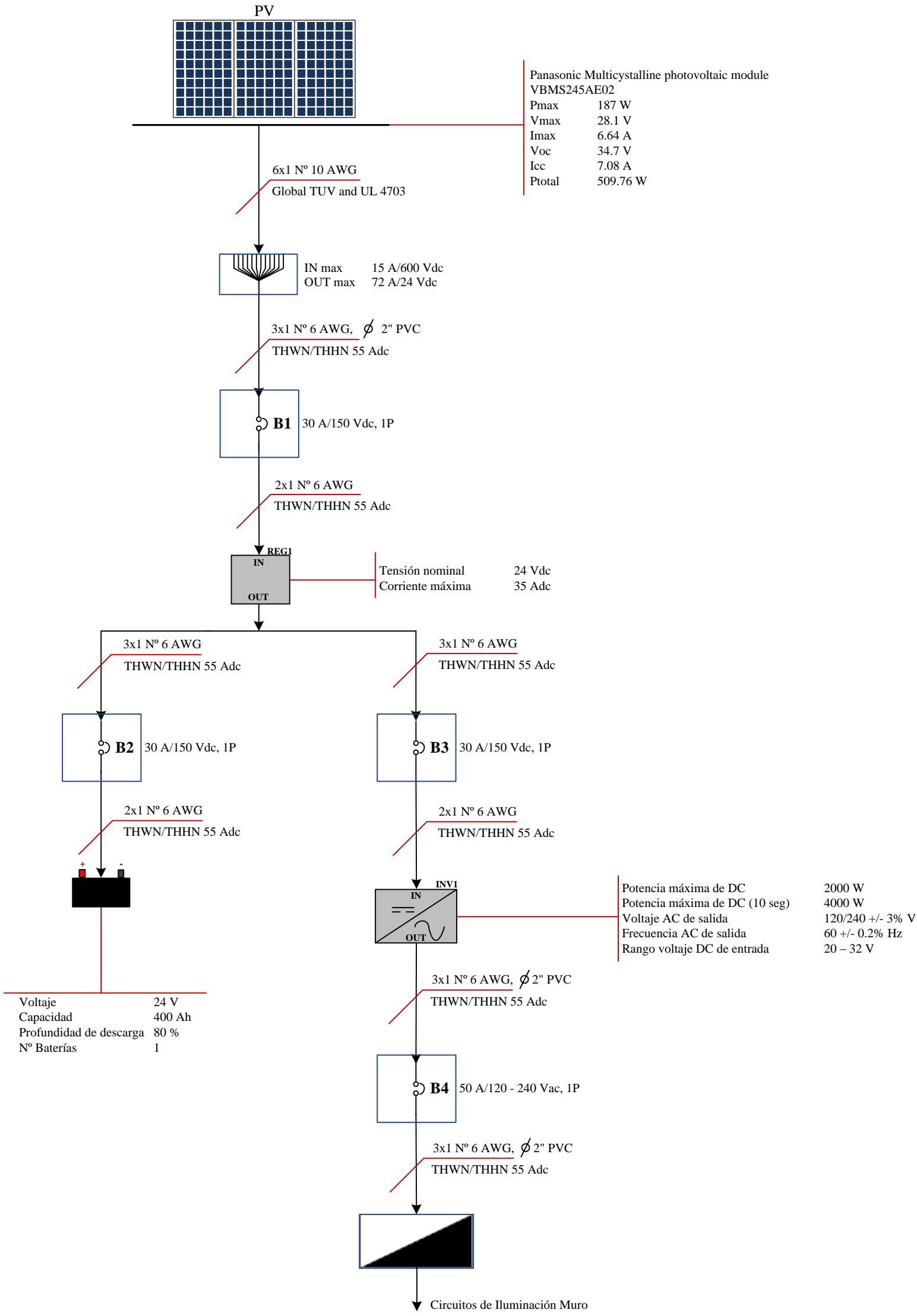


SIMBOLOGIA EMPLEADA	
	PANEL SOLAR (PV)
	COMBINER BOX
	EMPALME HOMOLOGADO
	SWITCH
	CAJA DE BREAKERS
	BREAKER PNL-30-AC/DC
	BREAKER THQL1150
	BREAKER PNL-30-AC/DC
	BREAKER PNL-30-AC/DC
	REGULADOR XANTREX SERIE C PMW
	INVERSOR XANTREX FREEDOM SW 24 V
	BATERÍA NICKEL IRON (NI - FE) DE 24V / 400AH
	PANEL DE DISTRIBUCIÓN MURO
	PANEL DE CONEXIÓN XANTREX XW POWER DISTRIBUTION PANEL 865-1015

	Cable 6 AWG
	Cable 6 AWG
	Cable 6 AWG
	Cable 6 AWG
	Cable 6 AWG

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA		
TITULACIÓN: ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES	SECCIÓN: ELECTRONICA Y ENERGIA	ESCALA: NINGUNA
PROYECTO: DIAGRAMA DE CONEXIÓN ELÉCTRICA MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR	AUTORES: - Luis Gerardo Hidalgo Garcia - Mauricio Fernando Román Rodriguez	FECHA: JULIO/2014
	REVISADO POR: Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco	LÁMINA: <div style="border: 1px solid black; width: 30px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 5px;"> 1 </div>

DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXIÓN



SIMBOLOGÍA EMPLEADA	
	PANEL SOLAR (PV)
	COMBINER BOX
	BREAKER
	REGULADOR XANTREX SERIE C PMW
	ARREGLO DE BATERÍAS NICKEL IRON (NI - FE)
	INVERSOR XANTREX FREEDOM SW 24 V
	PANEL DE DISTRIBUCIÓN DEL MURO

	UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA		
	TITULACIÓN: ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES	SECCIÓN: ELECTRÓNICA Y ENERGÍA	ESCALA: NINGUNA
	PROYECTO: DIAGRAMA UNIFILAR DE CONEXIÓN MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR	AUTORES: - Luis Gerardo Hidalgo García - Mauricio Fernando Román Rodríguez	FECHA: JULIO/2014 LAMINA: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">1</div>
	REVISADO POR: Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco		

Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para provisión de energía en la zona rural del cantón Loja al sur del Ecuador

L. Hidalgo^{#1}, M. Román^{#1}, J. Jaramillo^{#2}

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

^{#2}Docente Investigador de la SEE del DCCE, Universidad Técnica Particular de Loja
Loja, Ecuador 2014

^{#1}lghidalgo1@utpl.edu.ec, ^{#1}mfroman2@utpl.edu.ec, ^{#2}jorgeluis@utpl.edu.ec

Abstract – Se describe los resultados obtenidos en el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para provisión de energía en la zona rural del cantón Loja, al sur del Ecuador.

Keywords – sistemas autónomos de energía, sistemas fotovoltaicos

I. INTRODUCCIÓN

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas. Entre las fuentes de energía renovable de mayor potencial figura la energía solar, disponible en todo el mundo y catalogada como un recurso universal que no tiene costo.

En otro plano, la posibilidad de diseñar e implementar sistemas fotovoltaicos para provisión de energía se convierte en una opción viable, considerando la amplia disponibilidad del recurso solar en la provincia de Loja, al sur del Ecuador, y, la necesidad de conservar el ecosistema de la región.

En este contexto, en la Sección de Energía y Electrónica SEE del Departamento de Ciencias de la Computación y Electrónica DCCE de la UTPL, se recibió un pedido de apoyo en el diseño de un sistema fotovoltaico PV autónomo para provisión de energía, destinado a proveer de energía a la edificación principal (módulo principal) y a la iluminación externa (módulo de iluminación exterior) de una propiedad ubicada en la zona rural del cantón Loja. En este trabajo se recoge los resultados obtenidos.

II. DISEÑO DEL MÓDULO PRINCIPAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

A. diseño preliminar

El sistema a diseñar en el marco de este proyecto, se ubicará en la Hacienda San Joaquín, Provincia de Loja, cantón Loja, parroquia de Vilcabamba, barrio El Chaupi. Para la

implementación se dispone de una superficie plana, de 1,81 Ha.

El módulo principal del sistema proveerá de energía a los equipos y dispositivos detallados en la Tabla 1.

Tabla 1.

Consumo detallado de los equipos existentes en la casa de huéspedes [Autores].

Carga	Unidades	Potencia, W	Tiempo diario de operación, h	Consumo diario, Wh
Laptop	2	100	15	3000
Aquarium	1	30	24	720
Refrigerator	1	150	24	3600
Electric Oven	1	2000	0,3	600
LED Lights	30	5	5	750
Laundry Machine	1	800	2	1600
Speakers	1	560	12	6720
Dehydrator	1	400	12	4800
Vitalyzer	1	18	3	54
Blender	1	1500	0,1	150
Radio	1	80	6	480
Heater	1	1000	0,5	500
Juicer	1	1500	0,1	150
Extractor	1	300	0,1	30
Router	1	30	24	720
Ceiling Speakers	5	20	3	300
Iron	1	700	0,1	70
Carga pico del sistema		9193	Total	24244

El sistema estará conformado por 3 bloques, tal como lo muestra la Fig. 1.

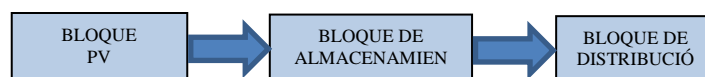


Fig. 1. Arquitectura propuesta para el sistema fotovoltaico a implementar [Autores].

De acuerdo a la Tabla 1, se espera un consumo diario de energía de 24244 Wh. Utilizando la metodología descrita en el Atlas Solar del Ecuador editado por el CONELEC [1], y, considerando un 5 % de reserva, se decidió diseñar el módulo

principal para proveer 25456 Wh/día, obteniendo los resultados mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2.

Parámetros de diseño del módulo principal del sistema [Autores].

Parámetro	Valor
Carga en corriente continua (CTcc), Wh/día	26729
Intensidad diaria de corriente (Icc), Ah	556,85
Intensidad de corriente diaria corregida (Icca), Ah	584,70
Corriente pico del sistema (Ip), A	142,61
Número de módulos fotovoltaicos (Nmf)	22
Máxima corriente regulador (I _{REG}), A	81,77
Máxima tensión regulador (V _{REG}), V	72,88
Capacidad nominal banco de baterías (CNbb), Ah	2338,79
Capacidad corregida del banco de baterías (CCbb), Ah	2923,49
Número de baterías paralelo (Nbp)	3
Número de baterías serie (Nbs)	1

El bloque fotovoltaico estará conformado por paneles solares multicristalinos tipo VBMS245AE02 de Panasonic [2], instalados en forma de un arreglo de 2 grupos, con 11 módulos en paralelo cada uno.

En el bloque de almacenamiento se incluye el regulador, el inversor, y, el banco de baterías. Considerando la corriente máxima que debe soportar el regulador se decidió usar 2 reguladores tipo XANTREX MPPT XW-MPPT60-150 conectados en paralelo, capaces de entregar en conjunto 120 A [3].

El inversor se seleccionó con una potencia lo más cercana posible a la carga pico del sistema (9193 W), y, con un voltaje correspondiente al del panel fotovoltaico (48 V). Ante la ausencia de un inversor con la potencia requerida, se decidió explorar el comportamiento de las cargas, determinando que las cargas más demandantes operan menos de una hora al día (ver Tabla 3), mientras que las cargas de mayor operación horaria representan unos 5000 Wh (ver Tabla 4). En estas condiciones, se consideró admisible la operación con un inversor XANTREX GridTie/OffGrid XW6048, de 6000 W [4].

Tabla 3.

Operación de las mayores cargas en la casa de huéspedes [Autores].

Carga	Unidades	Potencia, W	Tiempo de operación, h
Electric Oven	1	2000	0,3
Blender	1	1500	0,1
Heater	1	1000	0,5
Carga máxima total			4500 Wh

El banco de baterías se dimensionó considerando los días de reserva, que en el marco de este proyecto se estimó en 4 días. Ante la insistencia del solicitante en utilizar una batería cuya vida útil sea de alrededor de 25 años, se decidió utilizar una batería tipo Ni - Fe, de 48 V, con una capacidad de 1000 Ah, conformada por 40 contenedores de 1,2 V, conectados en serie [5].

Tabla 4.

Operación de las cargas menores en la casa de huéspedes [Autores].

Carga	Unidades	Potencia, W	Tiempo de operación, h
Laptop	2	100	15
Aquarium	1	30	24
Refrigerator	1	150	24
LED Lights	30	5	5
Laundry Machine	1	800	2
Speakers	1	560	12
Dehydrator	1	400	12
Vitalyzer	1	18	3
Radio	1	80	6
Juicer	1	1500	0,1
Extractor	1	300	0,1
Router	1	30	24
Ceiling Speakers	5	20	3
Iron	1	700	0,1
Carga máxima total			4693 Wh

El bloque de distribución se montará en función de las necesidades internas de la casa de huéspedes.

B. Ingeniería de detalle

Los 22 módulos fotovoltaicos para asegurar la provisión de energía requerida, se distribuirían en dos filas de 11 paneles cada una. Por requerimientos del usuario final, se plantea que la instalación soporte 20 años de exposición a la intemperie y a vientos de hasta 120 km/h, y, que esté conectada a tierra de una manera eficiente y segura.

En un *primer escenario*, se analizó las condiciones de instalación de los módulos PV directamente sobre el suelo, a una distancia no mayor a 5 m del cuarto de equipos, a fin de reducir las pérdidas en transmisión de corriente continua. Por cuanto el sistema se implementará en el paralelo 4°15'39" S, los módulos se orientarán al norte [6], soportados sobre una estructura metálica capaz de garantizar 15° de inclinación respecto a la horizontal [7] (ver Fig.2).

Considerando la geometría y el peso de cada módulo [1], se aproximó la carga del arreglo sobre la estructura de soporte a 10,70 kg/m². Al incluir el peso de los elementos de interconexión, la carga se recalculó a 11,80 kg/m², por lo que requiere instalar los módulos sobre una estructura de aluminio, anclada a pilotes de hormigón.

Los módulos se interconectarán a través de un combiner box tipo SMA SCCB 28 – 420 [8]. La conexión se realizará con cables tipo Global TÜV UL 4703 de 10 AWG (15 A), con conectores hembra y macho [9]. Cada panel se instala a través de un interruptor de control IEC 194L ON – OFF para facilitar su mantenimiento [10].

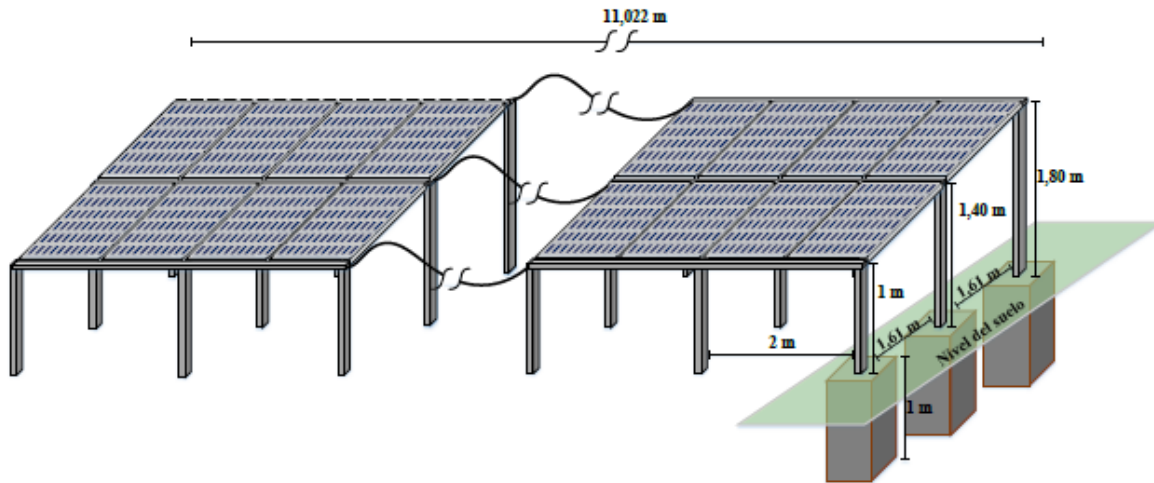


Fig. 2. Estructura de soporte de los módulos PV distribuidos directamente sobre el suelo [Autores].

La estructura de soporte se fija al suelo con pilotes de hormigón tipo HA-25 de 25 N/mm^2 de resistencia (ver Fig. 2). De acuerdo a [11], se requiere la compactación previa del terreno, el vertido y compactación de una capa de piedra de 0,15 m, y, el vertido de una capa de hormigón de limpieza HM-20 de 0,1 m.

En el *segundo escenario*, la colocación de módulos sobre la cubierta requiere analizar aspectos como tipo de sustrato, tamaño de vigas, espaciamiento y edad de la estructura. Por otra parte, se debe prever una zona de operación para mantenimiento. Para este proyecto puntual, la cubierta debe soportar una carga estructural de 14 kg/m^2 , que incluye el peso de los módulos, elementos de interconexión, estructura de soporte y personal de mantenimiento.

Los paneles se colocarán en forma vertical, con rieles de sujeción verticales, a fin de evitar la acumulación de agua. Los rieles se sujetan en un Quick Mount PV fabricado por Wholesale Solar. El Quick Mount PV consta de una base de aluminio que se fija a las vigas del tejado, mientras que pies tipo L sujetan los rieles [12]. Para anclar los módulos a los rieles, se emplean dispositivos tipo Mid Clamp y End Clamp [12]. Entre módulos y cubierta deberá existir una separación de 0,15 m, que evite la transferencia directa de calor [6].

Las implicaciones técnicas de cada uno de los escenarios de ubicación de los módulos, fueron analizadas por el equipo de trabajo y el cliente, quien decidió optar por la ubicación directa sobre tierra.

Considerando la integralidad del proyecto, se decidió emplear acometidas subterráneas colocadas en zanjas. De acuerdo a [13], el lecho de la zanja será liso y libre de aristas vivas y piedras. Se colocará una primera capa de 0,1 m de arena de río, lavada, limpia y suelta, exenta de

sustancias orgánicas, arcilla o partículas terrosas (ver Fig. 3). Sobre esta capa se colocará tubos de PVC flexible, corrugado en el exterior y liso en el interior, de doble pared con guía de poliéster. Se agregará una segunda capa de arena, de 0,3 m de espesor, que envuelva los tubos por completo. Sobre esta capa, se reubicará la tierra excavada, compactada por medios manuales. Finalmente, a 0,15 m de profundidad, se ubicará una cinta de señalización como advertencia de la presencia de cables eléctricos.



Fig. 3. Esquema de construcción de la acometida subterránea [Autores].

La entrada y salida de cables a la zanja, se facilitará mediante pasatubos flexibles de PVC. Se colocarán arquetas al inicio y al final de las zanjas, para facilitar la revisión y direccionamiento de los cables [13]. De acuerdo a [14], el combiner box y el cuarto de equipos se conectarán a través de un cable tipo 2 AWG (95 A) para que la caída de tensión no supere el 5 %.

En el cuarto de equipos se instalará un regulador XANTREX MPPT XW-MPPT60-150 [3], un inversor XANTREX GridTie/OffGrid XW6048 [4], un módulo de interconexión tipo XANTREX XW Power Distribution Panel 865 – 1015 [15], y, 3 baterías Nickel Iron (Ni - Fe) de 48 V y 1000 Ah. Cada batería a emplear está conformada por 40 celdas, de 64 kg de peso cada una [5]. Las celdas se distribuyen en 2 capas, una sobre otra, de 20

celdas cada una. Cada capa está conformada por 2 filas de 10 celdas. Se ha estimado que cada batería ocupe un área total de 1,644 m², sobre los que actuarán 2560 kg de peso.

Se decidió entonces construir una edificación de 5 m x 5 m x 2,5 m. Para optimizar el área disponible, se colocará 2 baterías en la parte izquierda, y, 1 en la esquina derecha. Por razones de operación y seguridad, el acceso a las baterías se restringe para personal no capacitado. El regulador e inversor se colocarán junto a los equipos del sistema de iluminación del muro (ver Fig. 4). Para interacción con el usuario, se plantea la instalación de una interfaz tipo XANTREX XW System Control Panel 865 - 1050 [16]. En el cuarto, las acometidas subterráneas estarán protegidas por rejas ubicadas en el piso (ver Fig. 5). Como medida de seguridad se instalará un extintor de CO₂, de una eficacia mínima de 21B. El extintor se ubicará junto a la puerta de ingreso al cuarto de equipos [13].

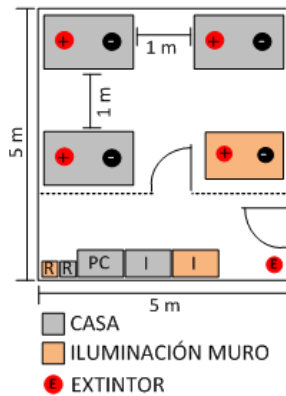


Fig. 4. Esquema de distribución de equipos en el cuarto
I: inversor, R: regulador, PC: panel de conexión (incluye interfaz de usuario), E: extintor [Autores].

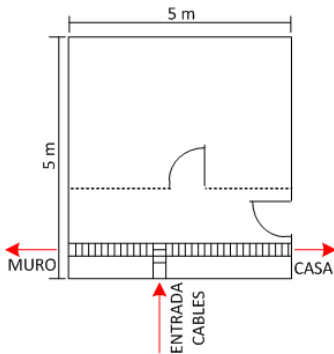


Fig. 5. Esquema de acometidas subterráneas en el cuarto de equipos [Autores].

Las hojas técnicas de los equipos a instalar establecen la temperatura de operación entre -20 y 50 °C, con una humedad entre 5 % y 95 %. Por esta razón se decidió mantener la temperatura en el interior del cuarto entre 20 y 30 °C, empleando un extractor de aire tipo E 12 con una boca de aspiración de 30 cm para gestar un caudal de extracción de 2200 m³/h, con un viento de 10 km/h [17], [18]. El recambio se realiza a través de ventanillas ubicadas en la parte inferior del cuarto, protegidas con malla para evitar el ingreso de insectos.

Por requerimiento del cliente, el sistema se diseñó para un trabajo autónomo de la red eléctrica pública en un 100 %, por lo cual debe ser lo suficientemente robusto.

Cable 2 AWG y breakers PNL-80-DC [19] permiten la conexión entre el combiner box y el regulador, el regulador y el arreglo de baterías, y, el regulador e inversor (ver Fig. 6). La salida del inversor se conecta al panel de distribución de la residencia, a través de un breaker THQL1160 de General Electric y cable 2 AWG, siguiendo las especificaciones de color [20], [21]. Los cables estarán debidamente etiquetados, y se sujetaran a las paredes utilizando electrocanaletas tipo escalera a fin de evitar esfuerzos mecánicos [7], [22]. Todos los equipos y armarios estarán conectados a tierra.

La red eléctrica de la residencia, deberá ser implementada en tres secciones: iluminación, fuerza, y, cocina.

El diseño del *sistema de puesta a tierra* deberá considerar las recomendaciones del fabricante Xantrex, que requiere que la resistencia de la malla sea de menos de 5 Ω.

Para *protección contra descargas eléctricas* se decidió utilizar un pararrayos tipo Franklin de tridente lateral MTTP02 [23].

Se prevé la instalación de equipos adicionales para facilitar el control y supervisión del sistema. El equipo Xantrex Communications Gateway permite monitorear el desempeño de los equipos, a través de una aplicación Internet que facilita información sobre la producción de energía y fallas en los equipos [24].

El accesorio XW Automatic Generator Start permite arrancar automáticamente un generador alternativo al sistema fotovoltaico ante insuficiencias en el abastecimiento eléctrico [25].

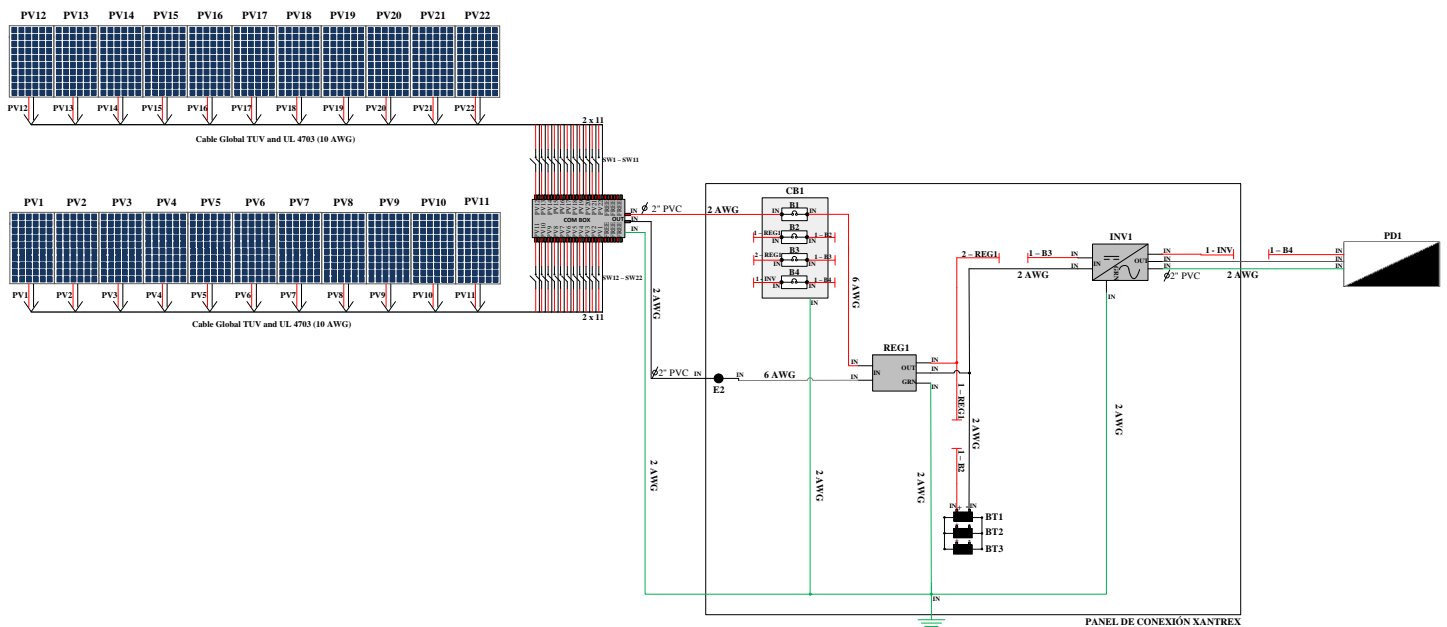


Fig. 6. Esquema de conexión del sistema fotovoltaico [Autores].

C. Presupuesto preliminar de inversión

La Tabla 5 resume el presupuesto preliminar, que cubre la inversión en equipos.

Tabla 5.

Presupuesto preliminar de inversión: rubro equipamiento [Autores].

Producto	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
XANTREX MPPT XW-MPPT60-150	1	890.00	890.00
XANTREX GridTie/OffGrid XW6048	1	5,900.00	5,900.00
XANTREX XW Power Distribution Panel 865-1015	1	2,000.00	2,000.00
XANTREX XW System Control Panel 865-1050	1	400.00	400.00
XANTREX Serie C PMW	1	200.00	200.00
Freedom SW 24 V	1	2,100.00	2,100.00
Xantrex Communication Gateway	1	650.00	650.00
XW Automatic Generator Start	1	300.00	300.00
Batería Nickel Iron (Ni-Fe) 48 V/1000 Ah	3	50,000.00	150,000.00
Batería Nickel Iron (Ni-Fe) 24 V/400 Ah	1	10,100.00	10,100.00
SMA SCCB 28-420 Combiner Box	1	1,400.00	1,400.00
SMA SCCB 6 Combiner Box	1	350.00	350.00
Panasonic Multicrystalline photovoltaic module VBMS245AE02	25	600.00	15,000.00
TOTAL			189,300.00

III. DISEÑO DEL MÓDULO DE ILUMINACIÓN EXTERIOR

A. Diseño preliminar

La propiedad limita por el sur con el río Vilcabamba, y, por el norte con un muro de 150 m de largo y 2.5 m de alto que lo

separa de la vía principal de acceso de la Hacienda (ver Fig. 7). Es este muro el que debe ser iluminado por requerimiento del cliente.

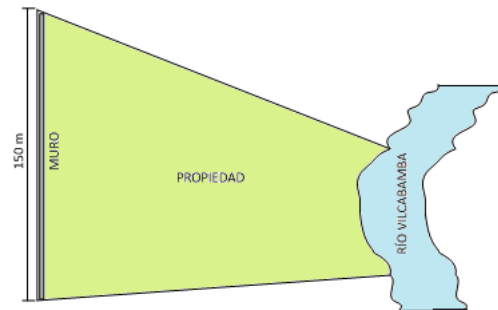


Fig. 7. Croquis del área ocupada por la propiedad de interés en este proyecto [Autores].

El muro de ilumina a través de 30 lámparas ubicadas a una altura de 2.5 m, a 5 m de distancia una de otra. Las lámparas se activarán a través sensores de movimiento. Para esto, las lámparas se agruparán en 6 grupos, activados por un sensor ubicado en la lámpara central del grupo. Una vez activado el grupo de lámparas, éste permanecerá encendido durante 35 s, tiempo suficiente para recorrer los 25 m iluminados.

El módulo de iluminación exterior estará compuesto por cuatro bloques (Ver Fig. 8): el bloque fotovoltaico generará la energía eléctrica requerida, el bloque de almacenamiento almacenará la energía hasta que sea demandada, el bloque de control se encargará de activar las luminarias ante la presencia de peatones; y, el bloque de iluminación garantizará el nivel requerido de iluminación.

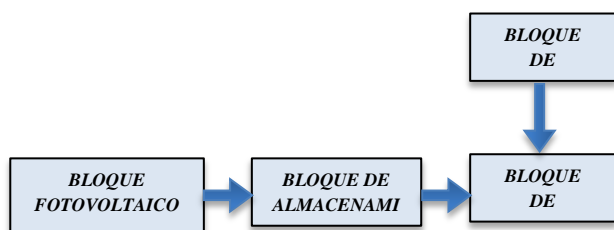


Fig 8. Diagrama de bloques del funcionamiento del sistema [Autores].

Para el diseño se utilizó la metodología sugerida en el Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica, editado por el CONELEC [2]. La demanda total de energía en corriente alterna CT_{CA} , se determinó considerando el número total de lámparas, el consumo de cada una, y, el tiempo de operación. Para un máximo de 3 horas diarias de operación, la demanda total de energía se estimó en 1170 Wh/día. Considerando una reserva de energía generada, de al menos 20%, la demanda total se recalculó en 1404 Wh/día. La Tabla 6 resume los resultados obtenidos.

Tabla 6.

Parámetros de diseño del módulo de iluminación exterior [Autores].

Parámetro	Valor
Carga en corriente continua (CTcc), Wh/día	1474,2
Intensidad diaria de corriente (Icc), Ah	61,42
Intensidad de corriente diaria corregida (Icca), Ah	64,50
Corriente pico del sistema (Ip), A	15,73
Número de módulos fotovoltaicos (Nmf)	3
Máxima corriente regulador (I _{REG}), A	22,30
Máxima tensión regulador (V _{REG}), V	36,44
Capacidad nominal banco de baterías (CNbb), Ah	257,98
Capacidad corregida del banco de baterías (CCbb), Ah	322,49
Número de baterías paralelo (Nbp)	1
Número de baterías serie (Nbs)	1

Como paneles solares se utilizará módulos multicristalinos tipo VBMS245AE02 de Panasonic, y, como lámparas dispositivos LED tipo LEDEX I6063 [26].

Como *regulador* se utilizará un equipo XANTREX Serie C PMW [27]. El *inversor* se selecciona en función de la potencia pico de las lámparas y del voltaje del módulo fotovoltaico. Para parámetros de 390 W y 24 V, se seleccionó el equipo XANTREX Freedom SW 24 V [28].

El *banco de baterías* se dimensiona en función de la intensidad de corriente diaria corregida (Icca) y de los días de reserva. Se emplearán una batería Nickel Iron (Ni-Fe) Battery, de 24 V y 400 Ah, compuesta por 20 contenedores de 1.2 V conectados en serie.

Dado que este sistema de iluminación se utiliza sobre una vía pública, se decidió utilizar la regulación CONELEC 008/11 para la prestación del servicio de alumbrado público. Considerando que la vía puede clasificarse como de orden peatonal, la iluminancia promedio deberá ser del orden 2 lx, con un mínimo de 0.4 lx [29]. El cumplimiento de la norma se

validó a través de mediciones de iluminancia de la lámpara seleccionada, empleando un luxómetro tipo Lutron LX-102; se obtuvo como resultado de la medición un valor de 4 lx a una distancia de 5 m de la lámpara y una altura de 1,5 m.

Como sensor de movimiento se utilizará el modelo Steinel sensIQS, que cumple con IP54 suficiente para garantizar su protección ante lluvia e insectos [30], [31].

B. Ingeniería de detalle

En el marco de este proyecto, se decidió concentrar la generación fotovoltaica en una “granja solar”, ubicada a una distancia no mayor a 5 m del cuarto de equipos (ver Fig. 9).

Los 3 módulos PV requeridos para alimentar el módulo de iluminación exterior, se conectan a través de un equipo SMA SBCB 6 Combiner Box, que combina las entradas provenientes de los módulos en una sola salida de corriente continua [8]. La instalación se realizará utilizando cables tipo Global TÜV and UL 4703, equivalentes a cables 10 AWG [9].



Fig 9. Esquema general de la instalación del módulo [Autores].

Para alimentar el módulo de iluminación exterior, se utilizará el regulador XANTREX Serie C PMW, de 0,203 x 0,127 x 0,064 m [27]. Como inversor se empleará el Freedom SW 24V, de 0,3 x 0,435 x 0,522 m [28]. Se empleará el mismo panel de conexión, tanto para alimentación del módulo central como del módulo de iluminación exterior.

Para alimentar al módulo de iluminación exterior, se empleará una batería Nickel Iron (Ni - Fe) de 24 V y 400 Ah, conformada por 20 celdas, de 1,2 V cada una y 400 Ah; cuyas dimensiones son 0,138 m de ancho y 0,276 m de lado, con un peso de 23 kg [5]. Las 20 celdas que conforman la batería se ubicaron en dos filas, de 10 baterías cada una, 10 en el frente y 10 en la parte posterior. El peso total de la batería se calculó en 460 kg. Se estimó que la batería ocupará un área de 0,9 m².

Todos estos equipos se ubicarán en el cuarto de equipos, compartido entre el módulo central y el módulo de iluminación exterior. La interfaz de control para el cliente será también común.

Las ducterías para las acometidas desde la granja solar hacia el cuarto de equipos, se diseñarán y construirán de acuerdo a los criterios explicados en los enunciados anteriores.

El combiner box se conectará al regulador en el cuarto de equipos a través de cable 6 AWG y de un breaker PNL-30-AC/DC [32].

El panel de conexión y el regulador, el panel de conexión y la batería; y, el panel de conexión y el inversor, se conectarán utilizando usando cable 6 AWG. En las conexiones regulador – batería y batería – inversor, como protección extra se utilizará breakers tipo PNL-30-AC/D. La salida del inversor se conectará mediante un breaker tipo THQL2150 de General Electric [33].

Las consideraciones para el etiquetado y sujeción de cables dentro del cuarto, serán las mismas adoptadas para el módulo central. La caja de distribución del cuarto de equipos se conectará con la caja de distribución del muro, por medio de cable 6 AWG. La Fig. 10 muestra el esquema instalación de los módulos PV y de los equipos complementarios.

Los sistemas de puesta a tierra y de protección contra descargas eléctricas serán los mismos empleados en el módulo central. Los sistemas de monitoreo serán los mismos empleados en el módulo central.

El presupuesto de implementación de equipos para el módulo de iluminación exterior se incluyó en el presupuesto de implementación del módulo central.

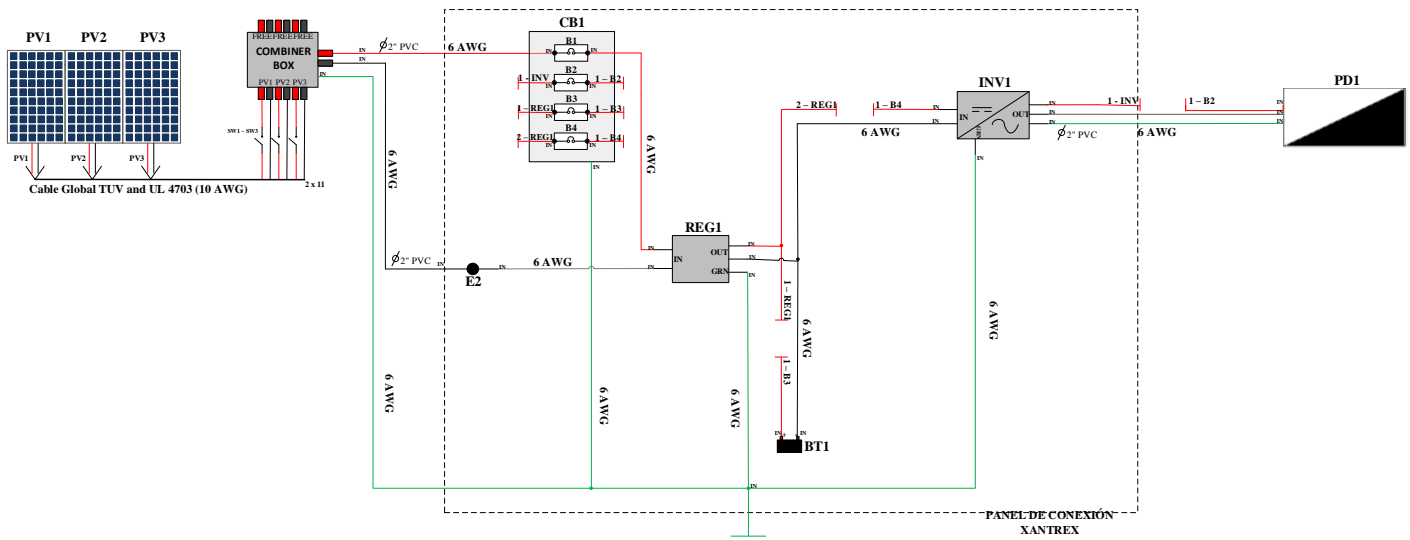


Fig. 10. Esquema de conexión de módulos PV y equipos adicionales en el módulo de iluminación exterior [Autores].

IV. CONCLUSIONES

- Se ha diseñado el módulo principal de un sistema fotovoltaico autónomo para provisión de energía, destinado a proveer de energía a una vivienda en la zona rural de la provincia de Loja.
- El sistema se diseñó basado en una arquitectura de 3 bloques: fotovoltaico, almacenamiento de energía, y, de distribución.
- Los equipos preseleccionados corresponden a requerimientos de amplia autonomía y vida útil.
- En este trabajo se ha diseñado a detalle un sistema capaz de operar en forma independiente de la red eléctrica pública.
- Se ha considerado dos posibles escenarios para la ubicación de los paneles solares: directamente sobre el suelo y sobre el tejado de la residencia principal. La decisión final la ha tomado el cliente y se relaciona al primer escenario.
- Desde la perspectiva de la integralidad del sistema, se ha optado por canalización subterránea para conectar los módulos, el cuarto de equipos, el muro, y, la vivienda.
- El cuarto de equipos se ha diseñado considerando las dimensiones de cada uno de los equipos, y, las condiciones de operación, mantenimiento y protección de los mismos.
- Adicionalmente se ha propuesto el empleo de algunos accesorios adicionales para el monitoreo y respuesta ante fallos del sistema.
- Se ha diseñado el módulo de iluminación exterior, destinado a iluminar un muro de 150 m de largo, en la zona rural de la provincia de Loja.

- El sistema se diseñó basado en una arquitectura de 4 bloques: fotovoltaico, almacenamiento de energía, control, e, iluminación.
- En este trabajo se ha diseñado a detalle el módulo de iluminación externa de una vivienda rural, potenciado por energía fotovoltaica desde un sistema autónomo.

V. REFERENCIAS

- [1] CONELEC, conelec.gov.ec, "Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica", [en línea] <http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf> [Consulta de 15 de Febrero 2014]
- [2] NOOR AND SONS, noorandsons.com.pk, "PANASONIC Multicrystalline photovoltaic module VBMS245AE02", [en línea] <<http://www.noorandsons.com.pk/solar%202.htm>> [Consulta de 14 de Febrero 2014]
- [3] TECHNO SUN, technosun.com, "Regulador Maximizador 60A-12/24/48/60V XW-MPPT60-150 SCHNEIDER", [en línea] <<http://www.technosun.com/es/productos/regulador-de-carga-XANTREX-XW-MPPT.php>> [Consulta de 15 de Febrero 2014]
- [4] SOLARTRADER.CA, solartrades.ce, "Xantrex XW6048 6000 Watt Inverter/Charger 48V 100A Charger", [en línea] <http://www.solartrader.ca/xantrex_xw_6048_6_kw_off_grid_invert_er_en_938prod.html> [Consulta de 16 de Febrero 2014]
- [5] IRON EDISON, ironedison.com, "Batteries / Nickel Iron (Ni-Fe) Battery", [en línea] <<http://ironedison.com/nickel-iron-ni-fe-battery>> [Consulta de 16 de Febrero 2014]
- [6] H. Gasquet, *Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos*, Solartronic, 2004.
- [7] "Universal Technical Standard for Solar Home Systems" Thermie B SUP 995-96, EC – DGXVII, 1998
- [8] SMA SOLAR TECHNOLOGY, sma-america.com, "SUNNY BOY/SUNNY CENTRAL COMBINER BOXES", [en línea] <http://www.sma-america.com/en_US/products/grid-tied-inverters/sunny-central/combiner-boxes.html> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [9] Catalogo 3-1773458-6, Connectivity Systems for PV Installers, TE Connectivity, Schaffhausen, Suiza, 2011
- [10] ROCKWELL AUTOMATION, ab.com, "Interruptores de control y carga Boletín 194L", [en línea] <<http://www.ab.com/es/epub/catalogs/12768/229240/229254/3170945/229537/Introducci-n.html>> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [11] UPC, upcommons.upc.edu, "Cimentación corrido de la estructura de soporte de los paneles solares", [en línea] <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/15465/22/17%20Cimentaci%C3%B3n%20m%C3%B3dulos%20solares.pdf>> [Consulta de 28 de Abril 2014]
- [12] WHOLESALE SOLAR, wholesalesolar.com, "Wholesale Solar's Comprehensive Guide: IronRidge Rails with the Wiley WEEB Groung System including optional QuickMount Flashing", [en línea] <www.wholesalesolar.com/mounts.html> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [13] R. Guardiola, "Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica de 1,1 MW", Tesis, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España, 2008.
- [14] VIAKON, viakon.com, "Alambres y Cables THWN/THHN 600 V, 75/90 °C", [en línea] <<http://www.viakon.com/pdf/categorias/24.pdf>> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [15] ALTESTORE, atestore.com, "XW Power Distribution Panel", [en línea] <<http://www.altestore.com/mmsolar/others/XW-PDP.pdf>> [Consulta de 29 de Marzo 2014]
- [16] ALTESTORE, atestore.com, "XANTREX XW System Control Panel 865 - 1050", [en línea] <<http://www.altestore.com/store/Inverters/Inverter-Accessories/Xantrex-Inverter-Accessories/Xantrex-XW-System-Control-Panel-865-1050/p5947/>> [Consulta de 30 de Marzo 2014]
- [17] ECOSISTEMA, extractoreseolicos.com.ar, "extractores eólicos", [en línea] <<http://www.extractoreseolicos.com.ar/modyap.htm>> [Consulta de 29 de Marzo 2014]
- [18] JARNUC CIA. LTDA., jarnuc.com, "Extractores Domésticos", [en línea] <<http://www.jarnuc.com/productos/eolicos-domesticos.html>> [Consulta de 30 de Marzo 2014]
- [19] OUT BACK POWER, outbackpower.com, "Contact OutBack for PN", [en línea] <http://www.outbackpower.com/outback-products/integration-hardware/item/panel-mount?category_id=451> [Consulta de 13 de Marzo de 2014]
- [20] *Código Eléctrico Nacional*, CPE INEN 019, 2001.
- [21] GENERAL ELECTRIC, ge-energy.com, "Residential Circuit Breakers", [en línea] <http://www.geenergy.com/products_and_services/products/circuit_breakers/residential_circuit_breakers.jsp> [Consulta de 14 de Marzo de 2014]
- [22] POLIPROYECTOS ELECTRICIDAD, poliprojectoselectricidad.com, "ELECTROCANALES", [en línea] <<http://poliprojectoselectricidad.com/electrocanales/electrocanales.htm>> [Consulta de 12 de Abril de 2014]
- [23] MASS@TIERRA, massatierra.net, "CATÁLOGO DE PRODUCTOS", [en línea] <http://massatierra.net/download/catalogo_ma_ssierra.pdf> [Consulta de 24 de Marzo de 2014]
- [24] APSCEDAR, apscedar.com, "Xantrex Communications Gateway", [en línea] <<http://www.apscedar.com/Xantrex-Comm-Gateway.pdf>> [Consulta de 12 de Abril 2014]
- [25] ALTESTORE, atestore.com, "XW Automatic Generator Start", [en línea] <<http://www.altestore.com/mmsolar/others/XW-AGS.pdf>> [Consulta de 12 de Abril 2014]
- [26] LEDEX, ledex-lights.com, "Led Lamp – Ceiling Light Series – High Power Led", [en línea] <<http://www.ledex-lights.com/index.php/led-lamp-high-power-led/ceiling-light-series-reflectores-par-30-y-par-38-led-high-power>> [Consulta de 13 de Febrero de 2014]
- [27] SCHNEIDER, schneider-electric.com, "TRACE Serie C Reguladores de CC multifunción", [en línea] <[http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=3217417&p_File_Name=C-Series-Owners-Manual_Spanish\(975-0004-05-01_rev-B\).pdf](http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=3217417&p_File_Name=C-Series-Owners-Manual_Spanish(975-0004-05-01_rev-B).pdf)> [Consulta de 29 de Marzo de 2014]
- [28] XANTREX, xantrex.com, "Inverter/Charger Freedom SW-24V (2000W & 3000W)", [en línea] <<http://www.xantrex.com/documents/Inverter-Chargers/Freedom-SW-NewGen/DS20131028FreedomSW24V.pdf>> [Consulta de 29 de Marzo de 2014]
- [29] CONELEC, conelec.gov.ec, "Prestación del Servicio de Alumbrado Público General (Regulación No. CONELEC 008/11)" [en línea]

<http://www.conelec.gob.ec/normativa_detalle.php?cd_norm=393>

[Consulta de 13 de Febrero de 2014]

[30] Rein Medical, reinmedical.com, “CLASES DE PROTECCIÓN IP”, [en línea] <<http://www.reinmedical.com/es/conocimientos-tecnologia/clases-de-proteccion-ip.html>>

[Consulta de 31 de julio de 2014]

[31] STEINEL, steinel-professional.de, “Infrared motion detector sensIQS”, [en línea] <<http://www.steinel-professional.de/Motion-Detectors/Overview-Motion-Detectors/sensIQ-S-White.html>>

[Consulta de 13 de Febrero de 2014]

[32] OUT BACK POWER, outbackpower.com, “Contact OutBack for PN”, [en línea]

<http://www.outbackpower.com/outback-products/integration-hardware/item/panel-mount?category_id=451>

[Consulta de 13 de Marzo de 2014]

[33] GENERAL ELECTRIC, ge-energy.com, “Residential Circuit Breakers”, [en línea]

<http://www.geenergy.com/products_and_services/products/circuit_breakers/residential_circuit_breakers.jsp>

[Consulta de 14 de Marzo de 2014]