



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA**

TEMA:

**Estudio y diseño de instalación fotovoltaica residencial para aula
comunal del proyecto comunitario UCSG "Consultorio Urbano"**

AUTOR:

Acosta Torres, Byron José

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de
INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICA**

TUTOR:

Ing. Philco Asqui, Luis Orlando Msc.

Guayaquil – Ecuador

31 de agosto del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Acosta Torres, Byron José** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico Mecánico**.

TUTOR

Ing. Luis Orlando Philco Asqui, MSc.

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar, MSc.

Guayaquil, 31 de agosto del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Acosta Torres, Byron José

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación **Estudio y diseño de instalación fotovoltaica residencial para aula comunal del proyecto comunitario UCSG "Consultorio Urbano"**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico Mecánico**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 31 de agosto del 2022

Acosta Torres, Byron José



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, Acosta Torres Byron José

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Estudio y diseño de instalación fotovoltaica residencial para aula comunal del proyecto comunitario UCSG "Consultorio Urbano"**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 31 de agosto del 2022

Acosta Torres, Byron José

REPORTE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface with the following details:

- Documento:** UNIVERSIDAD CATHOLICA DE GUAYAQUIL (0143576506)
- Presentado:** 2022-08-29 22:07 (-05:00)
- Presentado por:** orlandophilco_7@hotmail.com
- Recibido:** orlando.philco.ucsg@analysis.urkund.com
- Mensaje:** UNIVERSIDAD CATHOLICA, Mostrar el mensaje completo

Lista de Fuentes:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/1317/14366/1/T-UCSG-F...
	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/27020/5355/1/PI_001110.pdf

Fuentes alternativas:

- Fuentes no usadas

Resumen del Documento:

UNIVERSIDAD CATHOLICA DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA
TEMA:
ESTUDIO Y DISEÑO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL PARA AULA COMUNAL DEL PROYECTO COMUNITARIO UCSCG "CONSULTORIO URBANO"
AUTOR: ACOSTA TORRES, BYRON JOSE
Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO

Reporte Urkund del trabajo de titulación en ingeniería Eléctrico Mecánica denominado: **Estudio y diseño de instalación fotovoltaica residencial para aula comunal del proyecto comunitario UCSCG "CONSULTORIO URBANO"** perteneciente al estudiante **Acosta Torres, Byron Jose**. Una vez efectuado el análisis antiplagio el resultado indica 2 % de coincidencias.

Atentamente,

Ing. Orlando Philco Asqui M.Sc.

Revisor

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación se lo dedico a DIOS, por haberme dado la sabiduría, entendiendo y fuerzas necesarias para llegar hasta alcanzar esta meta trazada desde muchos años atrás y que hoy estoy cumpliendo.

A mis padres y hermanos, mi familia.

.

A las personas que me han sabido apoyar en los momentos más duros de mi vida este triunfo va dedicado para ellos, muchas gracias por sus consejos.

EL AUTOR

Agradecimiento

Quiero agradecer la ayuda incondicional de mis padres ya que sin ellos este sueño no hubiera sido posible,

A todas las personas que confiaron en mi en todo momento les agradezco por compartir junto a mi parte de este logro.

EL AUTOR



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

M.Sc. ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS

DECANO

M.Sc. EFRAÍN OLIVERIO VELEZ TACURI

COORDINADOR DE TITULACIÓN

M.Sc. EFRAÍN SUAREZ MURILLO

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO 1:.....	2
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
1.1 Introducción.	2
1.2 Definición del Problema.	3
1.3 Justificación del Problema.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.	4
1.4.2 Objetivos Específicos.	4
1.5 Metodología de Investigación.	4
CAPÍTULO 2: INSTALACIONES ELECTRICAS RESIDENCIALES.....	5
2.1 Consideraciones de una instalación eléctrica residencial.....	5
2.2 Normativas en la NEC-IE	6
2.3 Clasificación de las viviendas según el área de construcción	7
2.4 Factores de demanda	7
2.5 Cargas especiales.....	7
2.6 Cálculo para instalación eléctrica residencial	8
2.7 Cálculos para los conductores de fase	14
2.8 Cálculo para conductor neutro	16
2.9 Cálculo de la base del medidor de energía	17
2.10 Selección de un centro de carga.....	18
2.11 Presupuesto del proyecto	19
2.12 Sistemas Fotovoltaicos	20
Ventajas y desventajas de sistemas fotovoltaicos	21
2.13. Componentes del sistema fotovoltaico	22
2.14 Configuraciones de los sistemas fotovoltaicos.....	22
2.14.1 Un SFV directamente conectados a una carga.....	23

2.14.2 Un SFV con cargador y baterías de almacenamiento	23
2.14.3 Un SFV que alimentan cargas de corriente alterna	24
2.15 Principios básicos de electricidad en la energía fotovoltaica.....	24
2.15.1 Tipos de corrientes	25
2.15.2 Circuitos Eléctricos	26
2.16 Circuitos en serie y en paralelo de las fuentes de energía	26
2.17 Paneles solares	28
2.17.1 Desempeño de los paneles	29
2.18 Baterías.....	30
2.18.1 Especificaciones de las baterías	32
2.18.2 Consideraciones de seguridad y mantenimiento	32
2.19 Controladores.....	33
2.20 Inversores.....	34
2.20.1 Especificaciones de inversores en SFV autónomos	34
2.21 Cableado del SFV	35
2.22 Conexión a tierra.....	36
2.23. Cargas.....	37
CAPÍTULO 3: CÁLCULOS PARA UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	
RESIDENCIAL	39
3.1 Parámetros de la célula solar	39
3.2 Potencia de la célula solar	40
3.3. Principales parámetros. Curvas características.....	41
3.3.1 Obtención de los valores de tensión e intensidad	41
3.3.2 Interpretación de una hoja de características	42
3.3.3 Características físicas	42
3.3.4 Variación de parámetros con la temperatura.....	43
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA AULA	
COMUNAL	44
4.1 Cálculos para determinar orientación solar	45

4.1.1 Cálculo de Pérdidas por Orientación e Inclinación.....	45
4.1.2 Cargas y Consumos Eléctricos.....	46
4.2 Cálculo de horas solares	47
4.3 Cálculo del Inversor	48
4.4 Cálculo de Módulos Fotovoltaicos.....	49
4.5 Cálculo del acumulador o batería	50
4.6 Cálculo del Sistema Regulador	52
4.7 Protecciones eléctricas en corriente continúa.....	53
4.8 Puesta a tierra en un sistema fotovoltaico	54
4.9 Diseño de instalación eléctrica para aula comunal	56
4.10 Sistema fotovoltaico para aula comunal	56
Conclusiones	58
Recomendaciones	59
Bibliografía	60
Anexo 1 Datos generales de elementos de una ISF	63

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 2. 1 Diagrama de conexión de alumbrado en la vivienda.....	9
Figura 2. 2 Conexión de lavadora eléctrica	12
Figura 2. 3 Conexión de duchas eléctrica a 220V	13
Figura 2. 4. Conductores de fase	14
Figura 2. 5 Tipos de ductos.....	17
Figura 2. 6 Varilla de cobre	17
Figura 2. 7 Base del medidor de energía	18
Figura 2. 8 Centro de carga	18
Figura 2. 9 Centro de cargas.....	19
Figura 2. 10 Sistema de uso diurno.....	23
Figura 2. 11 Sistema con baterías.....	23
Figura 2. 12 Sistemas con cargas CA y CD	24
Figura 2. 13 Calculo de potencia.....	24
Figura 2. 14 Representación gráfica de CA	25
Figura 2. 15 Representación gráfica de CD	25
Figura 2. 16 Circuito eléctrico.....	26
Figura 2. 17 Módulos conectados en serie.....	27
Figura 2. 18 Módulos conectados en paralelo.....	27
Figura 2. 19 Módulos conectados en serie y en paralelo	28
Figura 2. 20 Celda, panel y arreglo fotovoltaico	29
Figura 2. 21 Batería de plomo-ácido tipo vaso abierto y sellada.....	31
Figura 2. 22 Controlador	34
Figura 2. 23 Inversor	34

Figura 2. 24 Puesta a tierra en sistema fotovoltaico.....	37
Figura 3. 1 Lugar en que se mide la tensión en circuito abierto (a) y la corriente de cortocircuito (b). El símbolo en forma de «sobre» representa una célula solar. 39	
Figura 3. 2 Asociación de células solares.	40
Figura 3. 3 Valores de tensión e intensidad en el panel a máxima potencia.	41
Figura 3. 4 Datos característicos de un panel solar	42
Figura 3. 5 Coeficientes de temperatura	43
Figura A 6 Componentes de una instalación.....	63
Figura A. 7 Estructura de la célula solar.....	63
CAPITULO 4	
Figura 4. 1 Vista del aula comunal del proyecto Consultorio Urbano	44
Figura 4. 2 Interior de aula comunal.....	44
Figura 4. 3 Escenario de radiación solar	53
Figura 4. 4 Termomagnético Schneider Electric IC60N.	54
Figura 4. 5 Puesta a tierra en sistema fotovoltaico residencial	55
Figura 4. 6 Diseño de instalación eléctrica.....	56
Figura 4. 7 Propuesta de sistema fotovoltaico para aula comunal	57

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2

Tabla 2. 1 Clasificación de las viviendas según el área de construcción	7
Tabla 2. 2 Fxactor de demanda	7
Tabla 2. 3 Cargas especiales	8
Tabla 2. 4 Demanda de cargas especiales	8
Tabla 2. 5 Estimación de carga por alumbrado	10
Tabla 2. 6 Ejemplo de cargas	11
Tabla 2. 7 Factores de demanda	11
Tabla 2. 8 Cálculos para los conductores de fase	14
Tabla 2. 9 Datos de calibre de conductores AWG	14
Tabla 2. 10 Cálculo para conductor neutro	16
Tabla 2. 11 Estimación del número de polos o espacios	18
Tabla 2. 12 Resumen de todos los materiales a utilizar en la instalación eléctrica residencial de la casa de habitación	20
Tabla 2. 13 Funciones y componentes del SFV	22

CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1 Tabla de características eléctricas	42
--	----

RESUMEN

El presente trabajo académico encamina a la propuesta de un sistema fotovoltaico residencial para el aula comunal del proyecto comunitario Consultorio Urbano de la UCSG. Por consiguiente, como objetivo general se calcula y dimensiona la instalación fotovoltaica residencial con un sistema de autonomía para al menos tres días. El tipo de investigación utilizado en este trabajo es; bibliográfico por cuanto se revisa el manual de la NEC en capítulo de construcciones - instalaciones eléctricas, también es descriptiva por cuanto se busca especificar los criterios de instalación eléctrica dada por la NEC, se emplea el método analítico para determinar componentes y características de operación como conductores y protecciones eléctricas. Como resultado esperado se propone un diseño de sistema fotovoltaico básico con banco de batería que pueda iluminar de forma autónoma el aula con la intensidad adecuada. Se determina sus protecciones respectivas, esta propuesta puede implementarse a corto plazo en el proyecto UCSG, Consultorio Urbano.

PALABRAS CLAVES: Sistema Fotovoltaico. Panel solar, Protecciones, NEC, Instalaciones Eléctricas.

ABSTRACT

The present academic work leads to the proposal of a residential photovoltaic system for the community classroom of the community project Urban Clinic of the UCSG. Therefore, as a general objective, the residential photovoltaic installation is calculated and dimensioned with an autonomy system for at least three days. The type of research used in this work is; bibliographic insofar as the NEC manual is reviewed in the chapter on constructions - electrical installations, it is also descriptive in that it seeks to specify the electrical installation criteria given by the NEC, the analytical method is used to determine components and operating characteristics as conductors and electrical protections. As an expected result, a basic photovoltaic system design with a battery bank that can autonomously illuminate the classroom with the appropriate intensity is proposed. Their respective protections are determined, this proposal can be implemented in the short term in the UCSG project, Urban Clinic.

KEY WORDS: Photovoltaic System. Solar panel, Protections, NEC, Electrical Installations.

CAPÍTULO 1:

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Introducción.

El uso de normas en instalaciones eléctricas en residencias es un punto de partida para asegurar o salvaguardar la salud de las personas ante descargas eléctricas o fallas de corto. Así mismo debe proteger la vida útil del electrodoméstico. O equipo conectado a dicha instalación eléctrica dentro de una vivienda.

La electricidad puede ser "estática" o "dinámica". La electricidad dinámica es el movimiento uniforme de electrones a través de un conductor (esto se conoce como corriente eléctrica). La electricidad estática es la acumulación de carga en las superficies como resultado del contacto y la fricción con otra superficie. Este contacto/fricción provoca una acumulación de electrones en una superficie y una deficiencia de electrones en la otra superficie.

La corriente eléctrica no puede existir sin un camino ininterrumpido hacia y desde el conductor. La electricidad formará un "camino" o "bucle". Cuando conecta un dispositivo (por ejemplo, una herramienta eléctrica), la electricidad toma el camino más fácil desde el enchufe hasta la herramienta y de regreso a la fuente de energía. Esta acción también se conoce como crear o completar un circuito eléctrico.

Dentro del ámbito académicos y de responsabilidad social por parte de la UCSG con la comunidad, contempla utilizar para múltiples actividades un inmueble que fue construido como parte del proyecto Consultorio Urbano. En este proyecto están inmersas carreras como arquitectura, diseño de interiores, y las carreras denominadas 'eléctricas' de la FETD. Aparte del inmueble principal existe un aula o estructura de obra civil que se denomina casa comunal y esta se utiliza para actividades de enseñanza y aprendizaje. Esta aula es de un solo ambiente, cuenta con algunas sillas y escritorio.

Este trabajo se encamina al uso o referencia del Código Eléctrico Nacional (NEC National Electrical Code) y de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA National Fire Protection Association), ambos organismos norteamericanos. De esta manera se avizora la norma ecuatoriana NEC código

NEC-SB-IE en lo referente a terminología, simbología y dimensionamiento con el fin de regular las instalaciones eléctricas residenciales. De acuerdo con el Decreto Ejecutivo No. 705 del 24 de marzo de 2011, el MIDUVI coordina el trabajo para la elaboración de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

La NEC es de cumplimiento obligatorio a nivel nacional y debe ser considerada en todos los procesos constructivos, como lo indica la Disposición General Décimo Quinta del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). Se constituye en una normativa que busca la calidad de vida de los ecuatorianos y aporta en la construcción de una cultura de seguridad y prevención; por ello, define los principios básicos para el diseño sísmico resistente de las estructuras; establece parámetros mínimos de seguridad y calidad en las edificaciones; optimiza los mecanismos de control y mantenimiento en los procesos constructivos; reduce el consumo y mejora la eficiencia energética de las edificaciones; aboga por el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad y salud; y además fija responsabilidades, obligaciones y derechos de todos los actores involucrados en la construcción. (NEC, 2018).

El trabajo presente contempla calcular y dimensionar la instalación eléctrica residencial además de proponer un sistema básico con paneles fotovoltaicos para la alimentación de luminarias dentro del aula comunal del proyecto Consultorio Urbano de la UCSG.

1.2 Definición del Problema.

Todos los sistemas eléctricos tienen el potencial de causar daño. El cuerpo humano por su composición biológica también puede verse como un conductor. Las personas se lesionan cuando se vuelven parte del circuito eléctrico. Los humanos somos más conductores que la tierra, lo que significa que, si no hay otro camino fácil, la electricidad intentará fluir a través de nuestros cuerpos. Los peligros eléctricos resultan del uso de un tamaño o tipo de cable incorrecto. No aplicación de normas para la misma instalación eléctrica.

1.3 Justificación del Problema.

Se debe minimizar riesgos o peligros de descargas eléctricas dentro de una instalación eléctrica residencial. Por aquello, se calcula y se elige el calibre o sección en mm² (milímetros cuadrados) del cable correcto para la cantidad de corriente esperada en un circuito. Esto último también comprende la selección de la protección (disyuntor termomagnético) del circuito eléctrico. Cuando la corriente eléctrica viaja a través de nuestro cuerpo, puede interferir con las señales eléctricas normales entre el cerebro y los músculos (p. ej., el corazón puede dejar de latir correctamente, la respiración puede detenerse o los músculos pueden tener espasmos. Una instalación eléctrica bien implementada prioriza salvaguardar la vida de las personas en segundo lugar la vida de los electrodomésticos en la vivienda.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Diseñar una instalación eléctrica en bajo voltaje para el aula comunal del proyecto comunitario UCSG denominado "Consultorio Urbano"

1.4.2 Objetivos Específicos.

1. Describir normas para instalaciones eléctricas residenciales.
2. Calcular las protecciones eléctricas en aula comunal
3. Calcular el equipamiento de un sistema fotovoltaico básico para el aula comunal.

1.5 Metodología de Investigación.

El tipo de investigación utilizado en este trabajo es; bibliográfico por cuanto se revisa el manual de la NEC en capítulo de construcciones - instalaciones eléctricas, también es descriptiva por cuanto se busca especificar los criterios de instalación eléctrica dada por el organismo de normas en el país, se emplea el método analítico para determinar componentes y características de operación como conductores y protecciones eléctricas.

CAPÍTULO 2: INSTALACIONES ELECTRICAS RESIDENCIALES

2.1 Consideraciones de una instalación eléctrica residencial

La instalación eléctrica debe garantizar la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que puedan surgir por el uso de la electricidad, así como el cumplimiento de estándares de calidad y continuidad del servicio.

Los lugares de trabajo generalmente tienen un suministro eléctrico nominal de 230 voltios (monofásico) y 400 voltios (trifásico), aunque algunos lugares de trabajo más grandes recibirán electricidad a un voltaje de suministro más alto.

Toda instalación eléctrica debe contar con un diseño realizado por un profesional competente para desarrollar esa actividad. El diseño podrá ser detallado o simplificado según el tipo de instalación. Debido a que comúnmente las viviendas unifamiliares tienen poca carga es muy probable que solo se requiera un diseño simplificado.

El diseño eléctrico de una vivienda o residencia requiere de conocimiento y experiencia, pues se debe tener en cuenta cálculos detallados antes de comenzar a trabajar en los diseños. Así el instalador o profesional dedicado a esta labor debe tener en cuenta la calidad y requisitos específicos juntos con los costos, también deberá conocer la correcta posición de las salidas eléctricas para la sala, la cocina, dormitorios/habitaciones, garaje y diversos espacios de un hogar, lo cual es crítico en un diseño eléctrico que cumpla con la normativa correspondiente.

Según el manual NEC Instalaciones Eléctrica SB-IE indica que el diseño eléctrico se desarrolla en función de los planos arquitectónicos y características físicas de la vivienda a proyectar. Además, debe existir un alto grado de coordinación y compatibilidad entre los diseños eléctrico, telefónico, electrónico, hidráulico, estructural y sanitario. El resumen de los criterios técnicos y resultados de los cálculos a efectuarse deben incluir planos eléctricos conforme a la norma IEC 60617 y consignarse en la memoria técnica descriptiva del proyecto.

Esta norma establece los requisitos mínimos para lograr niveles de seguridad aceptables en las instalaciones eléctricas. Las disposiciones de esta norma

están hechas para ser aplicadas e interpretadas por profesionales especializados. Así mismo se debe regir a lo indicado en el Código Eléctrico Nacional vigente.

La norma NEC IE, se aplica a las instalaciones eléctricas interiores residenciales no inmóviles en bajo voltaje, en edificaciones nuevas, ampliaciones o modificaciones de instalaciones eléctricas existentes, de tal manera que las instalaciones cuenten con la protección indispensable contra:

- Choques eléctricos
- Efectos térmicos
- Sobrecorrientes
- Corrientes de falla
- Sobrevoltajes.

El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta norma garantiza el uso de la energía eléctrica en forma segura. Nacional vigente (NEC, 2018).

2.2 Normativas en la NEC-IE

Las disposiciones de esta norma se aplicarán al diseño, construcción y mantenimiento de las instalaciones eléctricas cuyo voltaje sea inferior a 600 Voltios. Las disposiciones de esta norma se aplicarán a edificaciones de tipo residencial y comercial, públicos y privados. Se ha tomado como base de estudio los siguientes documentos:

- Código Eléctrico Nacional, Ecuador, CPE INEN 19:2001.
- NFPA70 Código Eléctrico Nacional. EEUU, 2008.
- NCH-ELEC.4-2003 Electricidad: Instalaciones de consumo en baja tensión. Código Eléctrico de Chile.
- Norma Técnica Colombiana NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá, 1998.
- Código de Edificación de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Código de Edificación de Vivienda, México, 2007.
- Código Técnico de la Edificación, España, 2006.

2.3 Clasificación de las viviendas según el área de construcción

Considerando que las demandas máximas de las diferentes cargas, en general, no son las mismas que las potencias de placa, se establecen factores de demanda, que están en función del tipo de vivienda según el área de construcción, como se indica en la Tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Clasificación de las viviendas según el área de construcción

TIPO DE VIVIENDA	ÁREA DE CONSTRUCCIÓN (m ²)	Número Mínimo de Circuitos	
		Iluminación	Tomacorrientes
Pequeña	A < 80	1	1
Mediana	80 < A < 200	2	2
Mediana grande	201 < A < 300	3	3
Grande	301 < A < 400	4	4
Especial	A > 400	1 por cada 100 m ² o fracción de 100 m ²	1 por cada 100 m ² o fracción de 100 m ²

Nota: (NEC, 2018)

2.4 Factores de demanda

Se puede tomar en cuenta los aspectos de iluminación y tomacorrientes, los factores de demanda que se deben considerar para iluminación y tomacorrientes de uso general en función del tipo de vivienda se indican en la Tabla 2.2.

Tabla 2. 2 Factor de demanda

VIVIENDA TIPO	FD Iluminación	FD Tomacorrientes
Pequeña - mediana	0,70	0,50
Mediana grande - Grande	0,55	0,40
Especial	0,53	0,30

2.5 Cargas especiales

Para el cálculo de la carga instalada de la vivienda proyectada, además de las cargas de iluminación y tomacorrientes de uso general, se deben considerar, entre otras, las potencias de placa de las cargas especiales. Solamente a falta

de los valores específicos se pueden considerar aquellos indicados en la Tabla 2.3

Tabla 2. 3 Cargas especiales

EQUIPO ELÉCTRICO	POTENCIA MEDIA (W)
Ducha eléctrica	3.500
Horno eléctrico	3.000
Cocina eléctrica	6.000
Calefón eléctrico	8.000
Aire acondicionado	2.500
Calentador eléctrico	3.000
Cargador para vehículo eléctrico	7.500

La demanda de las cargas especiales se determina en función de la carga instalada al aplicar los factores de demanda especificados en la Tabla 2. 4.

Tabla 2. 4 Demanda de cargas especiales

Para 1 carga	Para 2 o más cargas	Para 2 o más cargas	Para 2 o más cargas
	CE<10kW	10kW<CE<20KW	CE>20kW
1	0,80	0,75	0,65

A continuación, se detalla cálculos necesarios para instalaciones eléctricas residenciales.

2.6 Cálculo para instalación eléctrica residencial

Se explica los procedimientos para cálculo de lampara en una vivienda típica. Por lo tanto, existirá un plano del diseño eléctrico para luminarias. Para este cálculo se toman en cuenta todas las normas que establece el Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) como el uso de los aparatos (en porcentajes) y otras recomendaciones. En primer lugar, establece que los primeros 3000 VA de la carga de alumbrado se toman al 100% y el resto al 35%. Luego se consideran las tomas por áreas de tal forma se distribuyen no solo, los puntos de alumbrado y tomacorrientes, así también la cantidad de circuitos derivados, teniendo como estándar circuitos de 20 amperios para alumbrado y tomacorrientes de 120 V CA.

La demanda de lavandería y pequeños aparatos se incluye en la carga general de alumbrado. En la figura 2.1 se muestra un diagrama de conexión de

luminaria en la vivienda, se muestra el recorrido de canalización de conductores calibre 14 (fase y neutro).

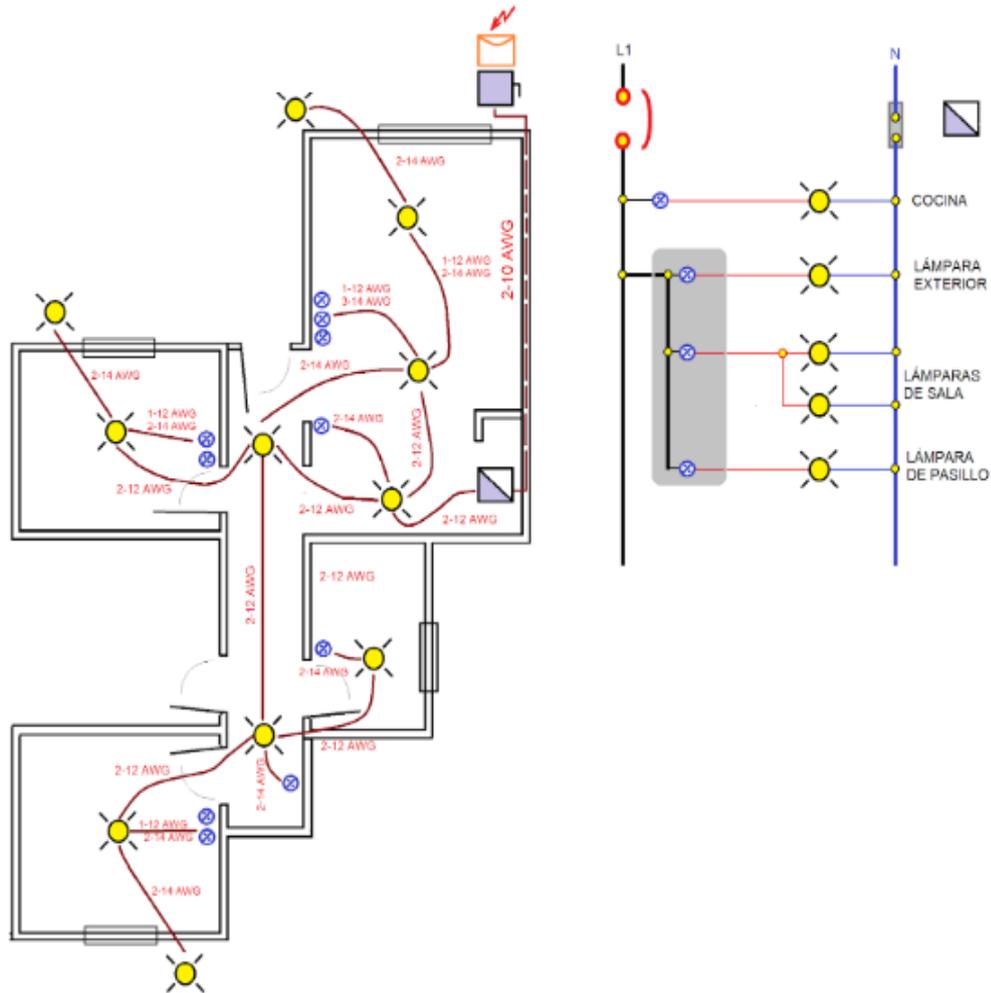


Figura 2. 1 Diagrama de conexión de alumbrado en la vivienda
Fuente: autor

Los circuitos de iluminación deben ser diseñados para alimentar una carga máxima de 15 amperios (preferible) y no exceder de 15 puntos de iluminación. Siempre hay que tomar todas las cargas al 100% a menos que el NEC determine lo contrario. Previamente, hay que estimar la carga por alumbrado general, refiriéndose a la tabla 2.5 de la NTC2050.

Como se ha indicado, el cálculo de planilla de circuitos eléctricos para la vivienda es a modo de ejemplo. El área de construcción de la vivienda es de 8 metros por 11.7 metros, total 93.6 metros cuadrados. En la tabla 2.5 se muestra la estimación de cargas por alumbrado.

Tabla 2. 5 Estimación de carga por alumbrado

Tipo de ocupación	Carga unitaria (VA/m ²)
Cuarteles y auditorios	10
Bancos	38 **
Barberías y salones de belleza	32
Iglesias	10
Clubes	22
Juzgados	22
Unidades de vivienda *	32
Garajes públicos (propiamente dichos)	5
Hospitales	22
Hoteles y moteles, incluidos bloques de apartamentos sin cocina *	22
Edificios industriales y comerciales	22
Casas de huéspedes	16
Edificios de oficinas	38 **
Restaurantes	22
Colegios	32
Tiendas	32
Depósitos	2.5
En cualquiera de los lugares anteriores excepto en viviendas unifamiliares y unidades individuales de vivienda bifamiliares y multifamiliares:	
Lugares de reunión y auditorios	10
Recibidores, pasillos, armarios, escaleras	5
Lugares de almacenaje	2.5

Se encuentra que para unidades habitacionales se necesitan para iluminación en general 32VA/m², este valor se multiplica por el área de la casa todas las salidas de alumbrado y tomas de uso general están dentro de este cálculo, por lo que para un área calculada de 120 m² se obtiene:

$$93.6m^2 \left(\frac{32VA}{m^2} \right) = 3000 VA$$

Ahora se estima el número de circuitos de alumbrado que habrá, ya sean de 15A o 20A a 120V.

$$numero\ de\ circuitos = \frac{3000\ VA}{(120V)(15A)} = 1.66 \approx 2$$

Que es un total de 2 circuitos para iluminación de toda el área de la casa.

Para mayor versatilidad y uso productivo se usarán solamente los circuitos de 15 A.

Ahora, para aparatos pequeños conectados a los tomacorrientes, el recomienda dos circuitos de 20 A, con una cara de 1500 VA cada uno, tal como se detalla en la tabla 2.6.

❖ Carga por aparatos pequeños $(2(1500VA)) = 3000VA$

Para la lavandería, el NEC recomienda un circuito de 20 A con una carga de 1500 VA.

❖ Carga por lavandería: 1500 VA

Para los baños, el NEC recomienda al menos un circuito de 20 A para tomacorriente. Véase la tabla 2.6

Tabla 2. 6 Ejemplo de cargas

Carga por alumbrado general	3000 VA
Carga por aparatos pequeños	3000 VA
Carga por lavandería	1500 VA
Carga total	7500 VA
Primeros 3000 VA al 100%	3000VA
Restantes 4500 VA al 35%	1575 VA
Carga Efectiva	4575 VA

Fuente. El autor

En la tabla 2.7 se muestra factores de demanda para alimentadores de cargas de alumbrado.

Tabla 2. 7 Factores de demanda

Tipo de ocupación	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (VA)	Factor de demanda %
Unidades de vivienda	Primeros 3.000 o menos	100
	De 3.001 a 120.000	35
	A partir de 120.000	25
Hospitales *	Primeros 50.000 o menos	40
	A partir de 50.000	20
Hoteles y moteles, incluidos bloques de apartamentos sin cocina *	Primeros 20.000 o menos	50
	De 20.001 a 100.000	40
	A partir de 100.000	30
Depósitos	Primeros 12.500 o menos	100
	A partir de 12.500	50
Todos los demás	VA totales	100

El resto de las cargas entran al 100%, a menos que haya 4 o más aparatos fijos en el mismo alimentador, en este caso el NEC permite la aplicación de un factor de demanda del 75% del valor de placa de carga, exceptuando el equipo de acondicionamiento de aire. Véase la figura 2.2

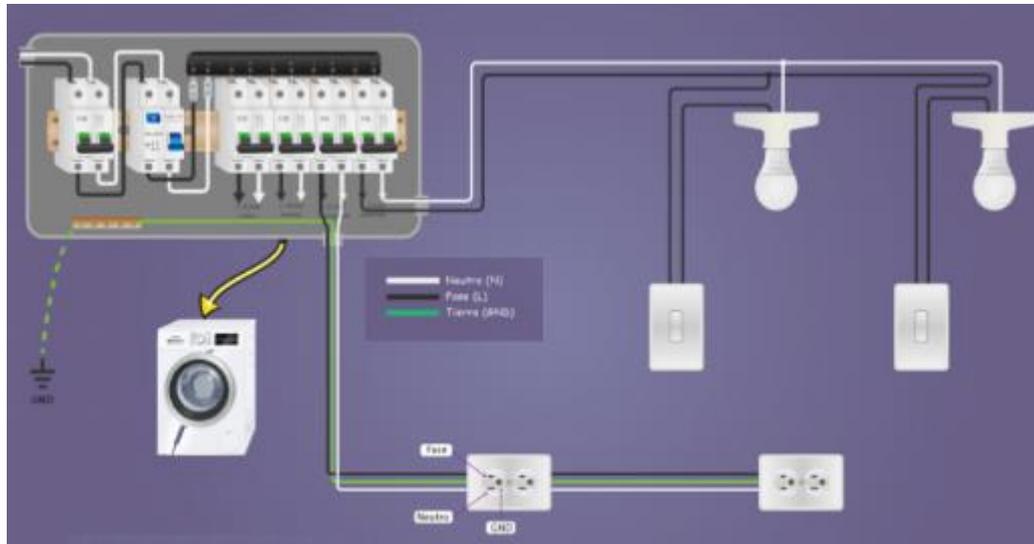


Figura 2. 2 Conexión de lavadora eléctrica

Fuente. (Neheyley Mechatronics, 2022)

Ya terminado el cálculo para luces y tomacorrientes generales, ahora se procede con el cálculo de la estufa eléctrica. A 12 KW de potencia o menor, se le aplica una demanda de 8 KW solamente, pues, es el uso estimado por el NEC. Por lo tanto, la corriente demandada a 240 V será:

$$I = \frac{8KW}{240V} = 33.333 A$$

Esto hace utilizar un interruptor termomagnético bipolar de 40 A.

Para las dos duchas eléctricas se hace solamente el cálculo de la corriente, ya que las dos son de la misma potencia:

$$I = \frac{5KW}{120V} = 41.666 A$$



Figura 2. 3 Conexión de duchas eléctrica a 220V

Fuente. (Foro Electricidad, 2016)

En la acometida al hogar la empresa comercializadora pone medidores eléctricos con alimentación a 220 o 240 V. esto quiere decir que tendrá; dos líneas denominadas fase o líneas vivas. Y tendrá una conexión de tierra. En el caso de duchas están pueden funcionar con alimentación a 220 como a 120 V de corriente alterna. según sea la potencia eléctrica se calcula la intensidad que consume la ducha. De tal manera, se selecciona el calibre del conductor como de su protección eléctrica.

En un caso con alimentación 120V, el resultado de la protección, ubica emplear un interruptor termo magnético unipolar de 50 A, uno para cada ducha eléctrica, esto significa que un interruptor termomagnético controlará una ducha eléctrica, independientemente del otro interruptor, ese controlará la “ducha eléctrica 2” o sea, cada una tendrá su protección individual y su control en el centro de carga.

Aclarando lo antes dicho, se prosigue con el cálculo de la lavadora que tiene unas especificaciones de fabricante: 10 A, 120 V.

Por lo tanto, para la lavadora, el cálculo será solo la potencia, puesto que ya se conoce la corriente:

$$P = (V)(I) = (120 V)(10 A) = 1200 VA$$

Al conocer la corriente (10 A) se sabe que el interruptor debe ser un termo magnético de 10 A. Pues, comercialmente los de 10A son difíciles de encontrar por lo que se optan en usar uno de 15 A.

2.7 Cálculos para los conductores de fase

Para calcular los conductores de fase se deben sumar todas las cargas que se calcularon anteriormente, se asume un factor de potencia unitario, por lo que los vatios (W) serán iguales a los voltamperios.



Figura 2. 4. Conductores de fase
Fuente. (Alianza Eléctrica, 2016)

La tabla 2.8 muestra cálculos para los conductores de fase.

Tabla 2. 8 Cálculos para los conductores de fase

TIPO	VA	VA2
Carga por iluminación, pequeños aparatos y lavandería		4575
Estufa eléctrica		8000
Ducha eléctrica 1	5000	
Ducha eléctrica 2	5000	
Lavadora eléctrica	1000	
Art. 220-17	Carga total al 75%	11000
		8250
CARGA TOTAL DE DEMANDA		20825

Fuente. El autor

En un servicio de tres líneas, ya sea de 120 V o 240 V, asumiendo que la carga esta balanceada, la corriente de demanda será:

$$I = \frac{20825 \text{ VA}}{240 \text{ V}} = 86.770 \text{ A}$$

No obstante, se calcula el calibre Mínimo de los conductores de servicio, se toma como referencia la tabla dada por American Wire Gauge Standard AWG.

Tabla 2. 9 Datos de calibre de conductores AWG

Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm2)	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (O/Km.)	Capacidad (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15
11	2,305	4,17		32,1	4,07	12
12	2,053	3,31		29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63		23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	56,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37
27	0,3606	0,10	25,6	0,91	170,0	0,29
28	0,3211	0,08	28,4	0,72	212,5	0,23
29	0,2859	0,064	32,4	0,57	265,6	0,18
30	0,2546	0,051	35,6	0,45	333,3	0,15
31	0,2268	0,040	39,8	0,36	425,0	0,11
32	0,2019	0,032	44,5	0,28	531,2	0,09
33	0,1798	0,0254	56,0	0,23	669,3	0,072
34	0,1601	0,0201	56,0	0,18	845,8	0,057
35	0,1426	0,0159	62,3	0,14	1069,0	0,045
36	0,1270	0,0127	69,0	0,10	1338,0	0,036
37	0,1131	0,0100	78,0	0,089	1700,0	0,028
38	0,1007	0,0079	82,3	0,070	2152,0	0,022
39	0,0897	0,0063	97,5	0,056	2696,0	0,017
40	0,0799	0,0050	111,0	0,044	3400,0	0,014
41	0,0711	0,0040	126,8	0,035	4250,0	0,011

42	0,0633	0,0032	138,9	0,028	5312,0	0,009
43	0,0564	0,0025	156,4	0,022	6800,0	0,007
44	0,0503	0,0020	169,7	0,018	8500,0	0,005

Nota: Los conductores eléctricos deben ser #3 THHN de cobre, considerándose hasta los 75°C.

2.8 Cálculo para conductor neutro

Para el cálculo del conductor neutro no se considera la carga en 240 V y la carga de la estufa se toma al 70% solamente. Véase la tabla 2.10.

Tabla 2. 10 Cálculo para conductor neutro

TIPO	VA	VA2
Carga por iluminación, pequeños aparatos y lavandería		4575
Estufa eléctrica al 70%	8000	5600
Ducha electrica 1	5000	
Ducha eléctrica 2	5000	
Lavadora eléctrica	1000	
Art. 220-17	Carga total al 75%	11000
CARGA TOTAL DE DEMANDA		18425

Fuente. El autor

Para un servicio de tres líneas, ya sea de 120 V o 240 V asumiendo que la carga esta balanceada, la corriente en el conductor neutro será:

$$I = \frac{18425 \text{ VA}}{240 \text{ V}} = 76.770 \text{ A}$$

Refiriéndose a la tabla 2.5, se calcula el calibre mínimo del conductor de servicio:

El conductor eléctrico debe ser #4 THHN de cobre, considerándose hasta los 75° C.

Sin embargo, para seleccionar el diámetro del ducto, este debe ser un conduit de 1 pulgada es recomendable para 3 conductores #3 o #2. Hay que recordar que son solo: 2 #3 para cada fase y uno #4 para el neutro, con el fin que el ducto de 1 pulg. satisface con las áreas de los conductores de fase.



Figura 2. 5 Tipos de ductos

Fuente. E autor

El calibre para el conductor de aterrizaje se obtiene de la tabla 2.5, para este caso el conductor debe ser un #8 de cobre desnudo. El electrodo de aterrizaje requerido por el NEC es de 5/8" de sección y a una profundidad mínima de 1,50 m. La figura 2.6 muestra una varilla de cobre desnudo.



Figura 2. 6 Varilla de cobre

Fuente. (Bercom, 2016)

2.9 Cálculo de la base del medidor de energía

La base para el medidor de energía se calcula mediante la corriente que pasa a través de los conductores de fase, esto es la demanda total de la carga, según los cálculos efectuados siguiendo las normas del NEC. Por tanto, debe ser clase 100 ya que la corriente de demanda total no supera los 100 Amperes, sino que llega a 86.770 A, lo que da una diferencia de 13.23 Amperes que pueden añadirse para llegar a los 200 A. Cuando esto ocurra, se debe cambiar la base por una clase 200, ya que de lo contrario se dañaría la base, recalentando los contactos y pudiendo provocar un accidente grave. Véase la figura 2.7.



Figura 2. 7 Base del medidor de energía
Fuente. (INECAL, 2018)

2.10 Selección de un centro de carga

La selección del centro de carga se hace en base a la capacidad de las barras, números de polos, montaje y el requerimiento o no de un interruptor general. Para esto se debe sumar el cálculo anterior y después buscar en los catálogos de los fabricantes de equipo eléctrico. Véase la figura 2.8.



Figura 2. 8 Centro de carga
Fuente. (EEGSA, 2017)

Para estimar el número de polos o espacios que se necesitan para el centro de carga, se resume en la tabla 2.11.

Tabla 2. 11 Estimación del número de polos o espacios

#	Circuito	Voltaje	Amperios	Grosor AWG	Protección	Potencia	Ducto	Espacios
2	Iluminación	120	15	14	15	1500	1/2"	2
1	Pequeños aparatos	120	15	14	15	1500	1/2"	1
1	Lavandería	120	20	14	20	1500	1/2"	1
1	Estufa eléctrica	240	33.3	10	40	11800	1/2"	2
2	Ducha eléctrica	120	41.66	8	50	5000	1/2"	2
1	Lavadora eléctrica	120	10	14	10	1200	1/2"	1
Numero requerido de polos o espacios								9
25% de espacios para el futuro								2,25
Numero requerido de polos o espacios con prevención para el futuro								11,25

Fuente. El autor

A continuación, se resume un “centro de carga” que cumpla todos los requisitos:

- ❖ Barras principales de más de 86.77 A
- ❖ 12 polos o espacios
- ❖ Interruptor principal
- ❖ 3 hilos
- ❖ Montaje bajo repello
- ❖ Barra de tierra.

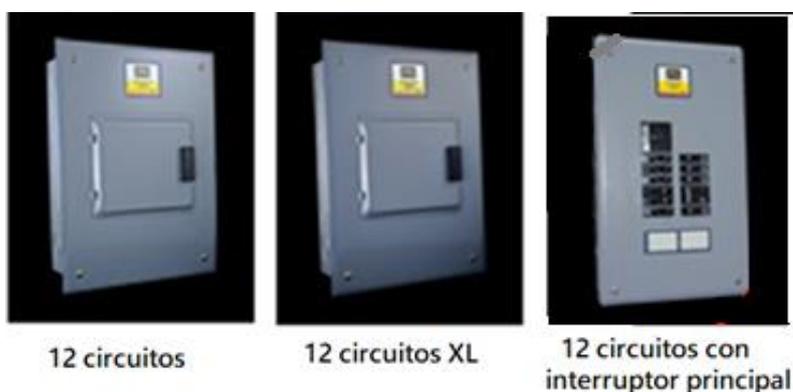


Figura 2. 9 Centro de cargas

Fuente. (Menecaxa, 2018)

2.11 Presupuesto del proyecto

A continuación, en la tabla 2.12 se presenta el resumen de todos los materiales, equipos, aparatos y dispositivos que serán utilizados en la instalación eléctrica residencial de la casa de habitación; todos ellos con su precio unitario actualizado, sus características técnicas, sus descripciones, entre otros, finalizando con el total, mano de obra y por último el gran total.

Tabla 2. 12 Resumen de todos los materiales a utilizar en la instalación eléctrica residencial de la casa de habitación

TIPO	#	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Dispositivo	23	Portalámparas incdste.	125 V - 150 W		
	5	interruptor triple	125 V - 10 A		
	1	interruptor doble	125 V - 10 A		
	40	tomacorriente 120	125 V - 15 A		
	4	interruptor simple	125 V - 10 A		
	1	tomacorriente 240	240 V - 40 A		
	1	base para medidor de ener. Elec.	CLASE 100		
	1	centro de carga	12CKTS - CON INTER. PRINCIPAL - BAJO REPELLO		
	1	termo magnético bipolar	240 V - 40 A		
	2	termo magnético unipolar	120 V - 50 A		
	2	termo magnético unipolar	120 V - 20 A		
	2	termo magnético unipolar	120 V - 15 A		
	1	termo magnético unipolar	120 V - 10 A		
Equipo	23	Lámparas ahorrativas	20W		
Y/O	1	ventilador de techo con luminaria	4x60W		
Aparatos	1	lámpara de vigilancia	250W		
	20	caja rectangular	2x2 pesada		
	22	pies conductor cobre rojo	#10 AWG, THHN		
	22	pies conductor cobre negro	#10 AWG, THHN		
	22	pies conductor cobre blanco	#10 AWG, THHN		
	30	pies conductor cobre (rojo)	#8 AWG, THHN		
	30	pies conductor cobre (blanco)	#8 AWG, THHN		
	20	pies conductor cobre (rojo)	#14 AWG, THHN		
	20	pies conductor cobre (blanco)	#14 AWG, THHN		
Materiales	20	pies conductor cobre (verde)	#14 AWG, THHN		
Y	316	pies conductor cobre / rojo	#14 AWG, THHN		
Accesorios	184	pies conductor cobre / blanco	#14 AWG, THHN		
	48	pies conductor cobre / rojo	#8 AWG, THHN		
	48	pies conductor cobre / blanco	#8 AWG, THHN		
	65	pies conductor cobre /negro	#6 AWG, THHN		
	65	pies conductor cobre /rojo	#6 AWG, THHN		
	65	pies conductor cobre /blanco	#6 AWG, THHN		
	537	pies conductor cobre / negro	#12 AWG, THHN		
	537	pies conductor cobre / blanco	#12 AWG, THHN		
	537	pies conductor cobre /verde	#12 AWG, THHN		
		TOTAL			
		MANO DE OBRA	60% DE TOTAL		
Total					0

Fuente. El autor

2.12 Sistemas Fotovoltaicos

La energía solar fotovoltaica transforma de manera directa la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico. Al incidir la radiación del sol sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica (que conforman los paneles) se produce una diferencia de potencial eléctrico

entre ambas caras que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando así corriente eléctrica

Actualmente los módulos o paneles fotovoltaicos brindan electricidad a más de un millón de hogares en todo el mundo y han diversificado sus aplicaciones hacia la comunicación, refrigeración para los servicios médicos, riego de cultivos, purificación de agua, vigilancia, entre otros. (SEI, 2008).

Los especialistas predicen que la tecnología fotovoltaica será la forma de energía comercial de más rápido crecimiento hasta el 2030.

Ventajas y desventajas de sistemas fotovoltaicos

Se ponen a consideración algunas ventajas

- › Los SFV son confiables aún en las condiciones más extremas.
- › Durabilidad, la mayoría de los módulos fotovoltaicos duran más de 20 años.
- › No tiene costos por uso de combustible.
- › Reducen la contaminación sonora ya que operan silenciosamente.
- › Los módulos pueden ser añadidos gradualmente para incrementar la energía disponible.

Se detalla ciertas desventajas de los sistemas fotovoltaicos:

- › El costo inicial de instalación es todavía alto.
- › Las instalaciones requieren de personal calificado y capacitado. El mal dimensionamiento del sistema, por ejemplo, un banco de baterías demasiado pequeño o demasiado grande para un arreglo fotovoltaico puede provocar el desuso del sistema a corto plazo.
- › En sistemas que utilizan baterías, el mantenimiento de las mismas constituye un problema, sobre todo en lugares alejados.
- › La eliminación de los componentes de los sistemas fotovoltaicos provoca un peligro ambiental moderado. La mayoría de sus componentes pueden ser reciclados, excepto los semiconductores.

2.13. Componentes del sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes o equipos desarrollados e integrados entre sí para realizar las siguientes funciones (ver tabla 2.13):

Tabla 2. 13 Funciones y componentes del SFV

Funciones	Componentes
Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica	Panel fotovoltaico
Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada	Baterías
Controlar y regular la carga o voltaje de las baterías	Regulador de carga
Proveer adecuadamente la energía generada y almacenada	Inversor (CD/CA)
Utilizar eficientemente la energía generada y almacenada	Cargas CD/ CA

Fuente. El autor

2.14 Configuraciones de los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser configurados de muchas maneras dependiendo de las necesidades del usuario, la disponibilidad de equipos y el costo. Existen tres grupos:

- ❖ Sistemas autónomos o independientes, cuyo funcionamiento solo depende de la luz del sol.
- ❖ Sistemas híbridos, que integran otras fuentes de energía, por ejemplo, incorporan un generador que funciona con diésel o con gas, lo que puede reducir significativamente la inversión inicial, sobre todo cuando se requieren alimentar grandes cargas como lavadoras, secadoras o máquinas y herramientas.
- ❖ Sistemas interconectados a la red pública de electricidad.

Los sistemas autónomos son los más utilizados en las áreas rurales, precisamente para evitar el uso de combustible y porque no cuentan con una red de electricidad. Los más comunes son:

2.14.1 Un SFV directamente conectados a una carga

Es el sistema más simple en el cual el módulo fotovoltaico se conecta directamente a la carga, normalmente un motor de corriente directa (CD). No requiere baterías ni componentes electrónicos, es un sistema de uso diurno, es decir, que, al no existir baterías, la energía no puede ser almacenada y solo puede ser utilizada durante el día.

Ejemplo: Un ventilador que funciona con corriente directa, puede conectarse directamente a un panel solar y funcionar solamente durante el día (ver figura 2.10).



Figura 2. 10 Sistema de uso diurno

Fuente. (MH Educación, 2017)

2.14.2 Un SFV con cargador y baterías de almacenamiento

Son utilizados para operar cargas de corriente directa durante la noche, incluyen un medio de almacenamiento (baterías) que son alimentadas durante el día. Las cargas de consumo del sistema pueden ser alimentadas desde las baterías durante el día o la noche. Requiere de un regulador de carga para que la batería no se sobrecargue.

El tipo de corriente que produce este sistema es corriente directa, tal como muestra en la figura 2.11.

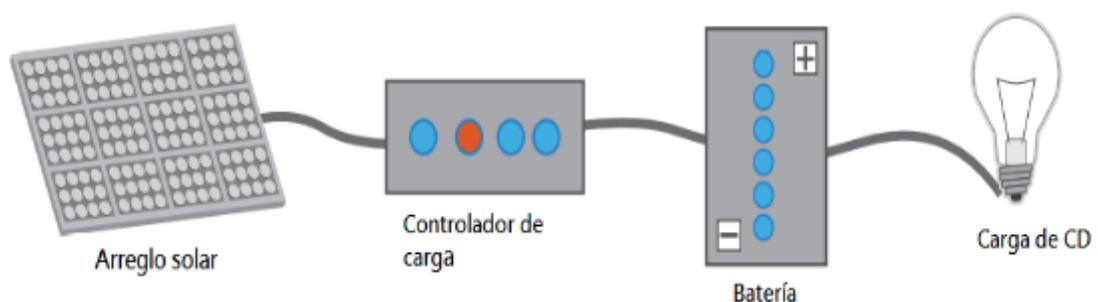


Figura 2. 11 Sistema con baterías

Fuente. (MH Educación, 2017)

2.14.3 Un SFV que alimentan cargas de corriente alterna

Los módulos fotovoltaicos producen corriente eléctrica directa (CD), pero muchos aparatos comunes necesitan corriente alterna (CA). Los SFV para alimentar cargas de corriente alterna utilizan un inversor para convertir la electricidad CD en electricidad CA (ver figura 2.12).

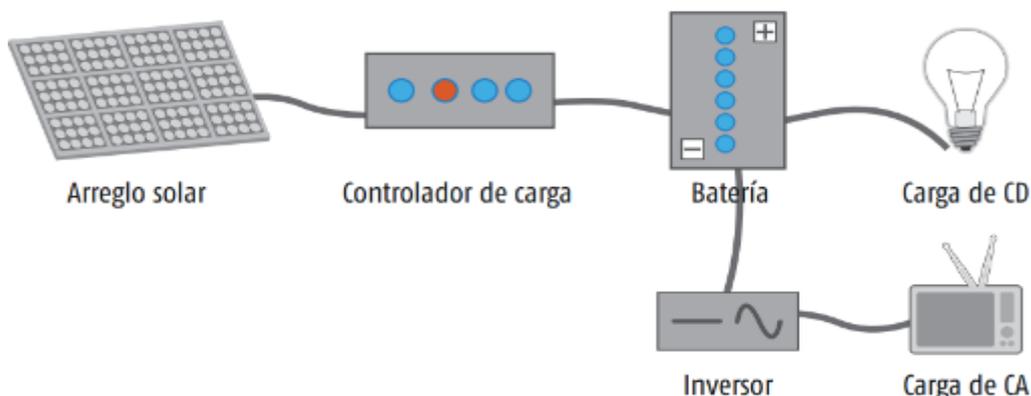


Figura 2. 12 Sistemas con cargas CA y CD

Fuente. (MH Educación, 2017)

2.15 Principios básicos de electricidad en la energía fotovoltaica

La electricidad es el flujo de electrones a través de un circuito. La fuerza o presión de los electrones que se mueven en un circuito se mide como voltaje, su unidad es el voltio (V) y el ritmo con el que fluyen los electrones se mide como amperaje, que se expresa en amperios (A). La potencia del sistema se mide en watts o vatios (W).

Una corriente de un amperio por una hora se utiliza para describir la capacidad de almacenaje de una batería (A-H).

La potencia se obtiene al multiplicar el voltaje (V) por la corriente (A). Véase la figura 2.13

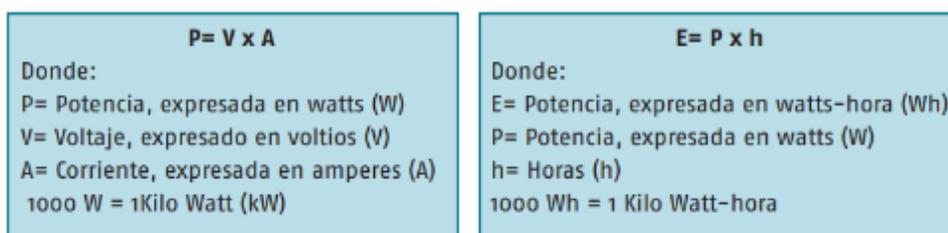


Figura 2. 13 Calculo de potencia

Fuente: (MH Educación, 2017)

2.15.1 Tipos de corrientes

Los dos tipos de corriente se describen a continuación:

1- La corriente alterna (CA); es la corriente eléctrica en la que el flujo se invierte a intervalos con una frecuencia regular. Este tipo de corriente es producida por alternadores, a través de su campo magnético, hace que los electrones fluyan primero en una dirección y luego en la opuesta. Las compañías de luz proporcionan corriente alterna. La mayoría de los electrodomésticos trabajan con corriente alterna. Véase figura 2.14

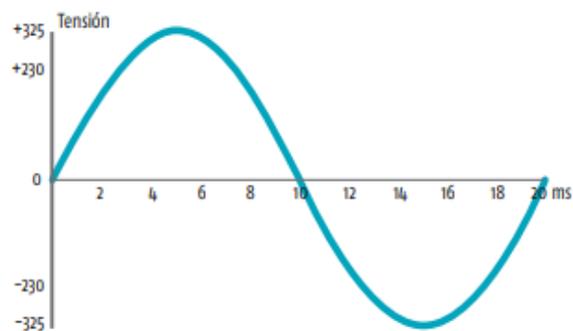


Figura 2. 14 Representación gráfica de CA

Fuente. El autor

2- La corriente directa (CD); también se conoce como corriente continua, es el tipo de corriente eléctrica producida por un generador que fluye solo en una dirección. Las baterías y módulos fotovoltaicos suministran CD, las baterías de los teléfonos celulares utilizan la CA y la transforman en CD. Véase la figura 2.15

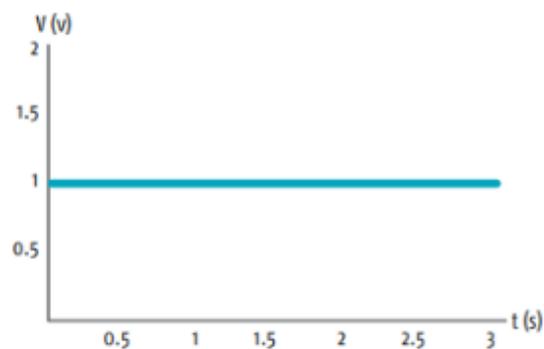


Figura 2. 15 Representación gráfica de CD

Fuente. El autor

Cuando se escoge un electrodoméstico u otro equipo (cargas) para usar con un SFV se deben verificar dos cosas:

- ❖ El voltaje del equipo debe coincidir con el voltaje que se le suministre. La fuente de energía, la batería, el generador o módulo fotovoltaico, determinan el voltaje suministrado.
- ❖ Un aparato eléctrico deberá ser compatible con el tipo de corriente que se le suministre CA o CD.

2.15.2 Circuitos Eléctricos

Un circuito eléctrico es la trayectoria continua del flujo de electrones desde una fuente de voltajes, tal como una batería o un módulo fotovoltaico, a través de un conductor (cable) hasta una carga y su regreso a la fuente (SE, 2008).

La figura 2.16 muestra una fuente de voltaje simple, la batería de 12V conectada a una carga simple, un bombillo de 12V y 24 W con un interruptor para encender y apagar la luz. El interruptor controla la continuidad del flujo de la corriente. Si el interruptor está en posición de encendido, el circuito estará cerrado, dando continuidad entre la fuente y la carga y el foco se encenderá.

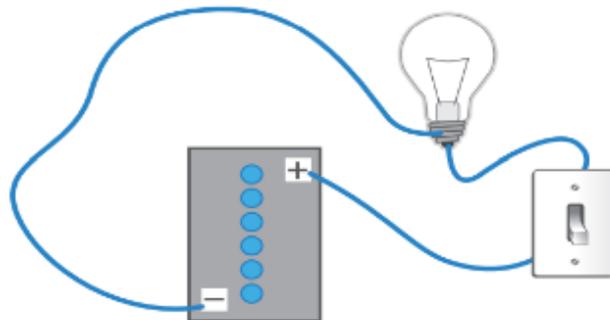


Figura 2. 16 Circuito eléctrico
Fuente. (MH Educación, 2017)

Si el interruptor está en posición de apagado, el circuito estará abierto, el alambre entre la fuente y la carga estará desconectado y por tanto la luz apagada.

2.16 Circuitos en serie y en paralelo de las fuentes de energía

Cada módulo o batería tiene un valor de voltaje o amperaje y pueden conectarse entre sí para obtener el voltaje deseado para el sistema:

Circuito en serie: Se forma cuando se conectan el terminal positivo (+) de un módulo al terminal negativo (-) de otro módulo, para incrementar el voltaje. La

conexión en serie no aumenta la corriente producida o el amperaje (figura 2.17).

Ejemplo: Si se requiere un arreglo de 24V y 3A, a partir de dos paneles de 12V y 3A, al conectarlos en serie, la potencia se suma.

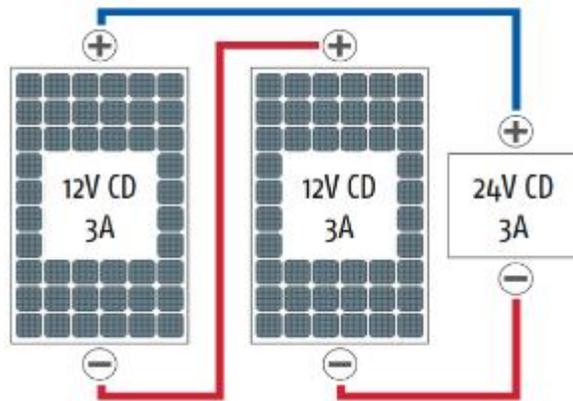


Figura 2. 17 Módulos conectados en serie

Fuente. El autor

Circuito en paralelo: La conexión de módulos se hace entre los terminales de positivo (+) a positivo (+) y de negativo (-) a negativo (-). Cuando las fuentes se conectan en paralelo, las cargas se suman y el voltaje aplicado al circuito permanece igual. Se utiliza para aumentar el amperaje o corriente de un sistema. Véase la figura 2.18.

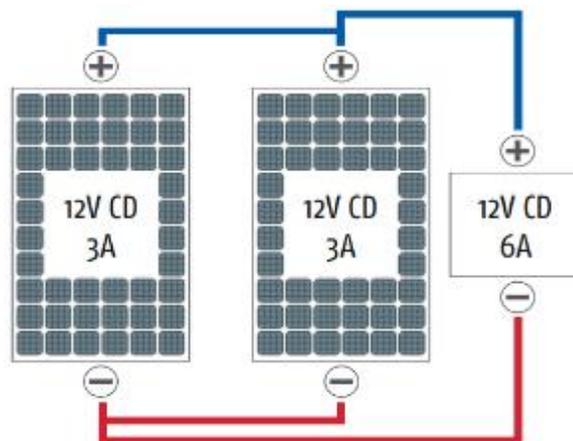


Figura 2. 18 Módulos conectados en paralelo

Fuente. El autor

Circuitos en serie y en paralelo: Los circuitos pueden usar una mezcla de conexiones en serie y en paralelo para obtener los voltajes y las corrientes necesarios.

En la figura 2.19, se conectan en modo serie-paralelo cuatro módulos de 12V y 3A. Los módulos se conectan en serie de dos en dos, lo que incrementa el voltaje a 24V. Cada tira se conecta en paralelo incrementando la corriente a 6A. El resultado es un sistema de 24V CD y 6A.

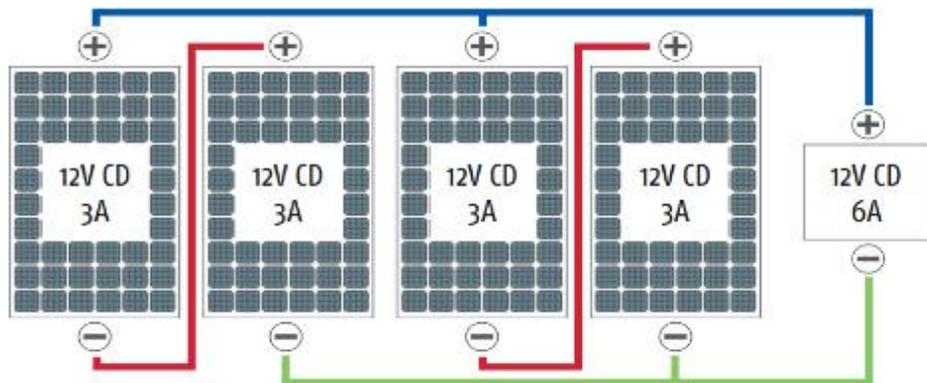


Figura 2. 19 Módulos conectados en serie y en paralelo

Fuente. El autor

2.17 Paneles solares

La unidad básica de un SFV es la celda fotovoltaica. Son dispositivos eléctricos, cuyo principal componente es el silicio, que convierten la luz del sol en corriente eléctrica directa, gracias al efecto fotovoltaico.

Un módulo o panel es un conjunto de celdas conectadas en serie o en paralelo para producir los voltajes y corrientes deseados. La mayoría de las celdas producen medio voltio. Un módulo típico tiene 36 celdas, por tanto, tendrán un voltaje de 18V, bajo condiciones estandarizadas y un voltaje nominal de 12V. Véase en la figura 2.20. un arreglo, es un grupo de paneles conectados para producir los valores deseados de corriente y voltaje y están fijos a una estructura de montaje.

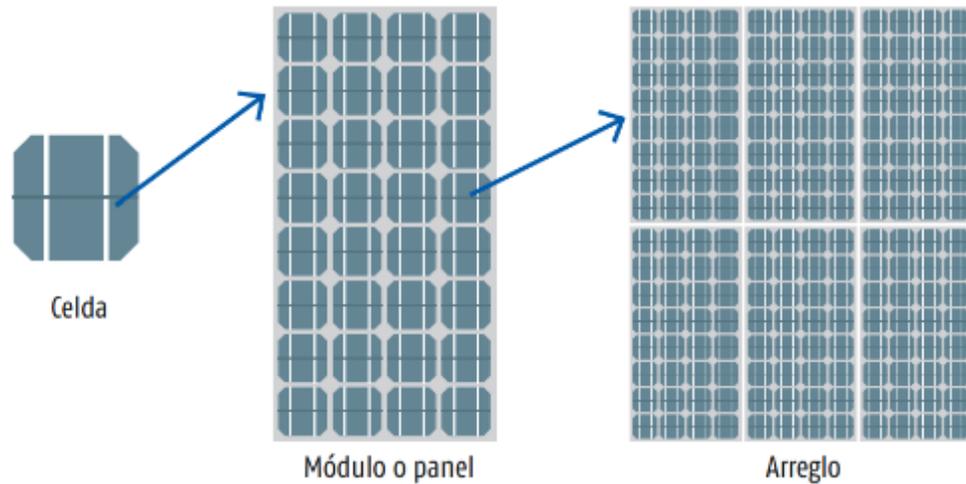


Figura 2. 20 Celda, panel y arreglo fotovoltaico

Fuente. El autor

Las celdas fotovoltaicas no necesitan partes móviles para crear energía eléctrica a partir de la energía solar. Cuando la luz del sol incide sobre una celda, libera electrones de la capa de silicio, se excitan los electrones y se genera el voltaje y la corriente desde la celda a un circuito eléctrico. La duración promedio de un panel es de 20 años, el mantenimiento que requieren es mínimo, se debe limpiar con un paño seco para evitar que el polvo impida su óptimo funcionamiento. (Birth, 2015).

2.17.1 Desempeño de los paneles

El valor nominal de potencia y voltaje de los módulos se presentan bajo condiciones estandarizadas de medida de $1000\text{W}/\text{m}^2$ y 25°C de temperatura de la celda. Los factores ambientales que afectan el desempeño de los paneles son:

a. Aumento de la radiación

La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo más o menos constante el voltaje. Es importante conocer este efecto ya que los valores de la radiación cambian a lo largo de todo el día en función del ángulo del sol con el horizonte, por lo que es importante la adecuada colocación de los paneles.

Un mediodía a pleno sol equivale a una radiación de $1000\text{W}/\text{m}^2$. Cuando el cielo está cubierto, la radiación apenas alcanza los $100\text{W}/\text{m}^2$. La corriente que entrega un módulo es proporcional a la intensidad de la radiación a la que está

expuesto. Sin embargo, el voltaje no cambia apreciablemente por variaciones en la intensidad de la luz.

b. Temperatura de la celda

A medida que aumenta la temperatura de la celda por encima de 25°C, el módulo opera menos eficientemente y el voltaje disminuye. Por ello el aire alrededor de todo el módulo es crítico para eliminar el calor acumulado que causan las altas temperaturas a la celda. Por eso es importante una estructura que proporcione un flujo de aire a los paneles.

Aunque un panel tenga un valor nominal de 100W, si el sistema se instala en un clima cálido es poco probable que produzca 100W. En promedio los valores reales de potencia serán aproximadamente el 88% de los valores nominales.

c. Sombreado

El sombreado, aún sea parcial, de los módulos fotovoltaicos puede resultar en una reducción notable en la salida de corriente. Una celda completamente sombreada, reduce la salida del módulo hasta en un 75%. Como mínimo el arreglo no puede recibir sombra de 9:00am a 3:00pm. Si hay sombra durante este período se necesitarán más módulos para producir la potencia adecuada. Por lo tanto, localizar los obstáculos que producen sombra en el sitio es de suma importancia.

d. Orientación e inclinación de los paneles solares

Se considera un estándar en Bolivia orientar los paneles hacia el norte con una inclinación de 30° sobre la horizontal, esta orientación garantiza que la radiación captada por el panel sea la mayor posible durante la época de menor radiación.

2.18 Baterías

Las baterías almacenan energía eléctrica de CD en forma química. Su función es la de acumular la energía que se produce durante las horas del día para poder ser utilizada durante la noche o cuando haga mal tiempo (día nublado, lluvioso). También tienen la función de proveer una intensidad de corriente mayor a la generada por el SFV, por ejemplo, para el encendido de un televisor.

Las baterías más utilizadas en los SFV son las de plomo-ácido de ciclo profundo. Estas pueden ser de líquido ventilada (vaso abierto) y las selladas. Véase la figura 2.21



Figura 2. 21 Batería de plomo-ácido tipo vaso abierto y sellada
Fuente. El autor

Las “baterías tipo vaso abierto” son muy parecidas a las de los automóviles, la diferencia principal es que las baterías para SFV están diseñadas para trabajar en “ciclo profundo”, es decir, descargan pequeñas cantidades de corriente por largos periodos de tiempo; mientras que las baterías para automóviles están diseñadas para descargar grandes cantidades de corriente durante cortos intervalos de tiempo, para encender un motor y luego inmediatamente ser recargadas por el alternador. Por lo tanto, no es recomendable utilizar baterías para automóviles para cargas residenciales y sistemas de energía renovable en general.

Las baterías de ciclo profundo pueden ser descargadas hasta un 80% y pueden durar hasta 10 años con un mantenimiento adecuado. La batería está hecha de placas positivas y negativas de plomo y aleaciones de plomo sumergidas en una solución electrolítica de ácido sulfúrico y agua. Cuando la batería se acerca a la carga completa se produce hidrógeno gaseoso que es expulsado. Cuando las aberturas de salida de la batería eliminan gases se pierde agua, por lo cual debe rellenarse periódicamente. Las baterías de ciclo profundo durarán más si se protegen de descargas completas y se les da mantenimiento periódico para la reposición de agua acidulada.

Las “baterías selladas”, no tienen tapa y por tanto, no se tiene acceso al electrolito y se consideran libres de mantenimiento; son a prueba de derrame ya que el electrolito se encuentra en estado gelificado. Estas razones las

convierten en una buena elección para aplicaciones lejanas donde el mantenimiento regular es improbable o no resulta económico.

Las baterías de plomo ácido necesitan controles para evitar tanto sobrecargas como descarga total. Estos controladores trabajan monitoreando el voltaje de la batería, el cual crece cuando la batería se carga y cae cuando la batería se descarga.

2.18.1 Especificaciones de las baterías

a. Días de autonomía: Se refiere al número de días en que un sistema de baterías suministrará una carga determinada sin ser recargado con el SFV.

b. Capacidad de las baterías: Se valora por su capacidad en ampere-hora (Ah). La capacidad se basa en la cantidad de energía necesaria para operar las cargas y días de autonomía. Profundidad y régimen de descarga: El ritmo al cual la batería se descarga afecta directamente a su capacidad. Si la batería se descarga rápidamente hay menos capacidad disponible. Por el contrario, una batería que se descarga lentamente tendrá una gran capacidad.

c. Esperanza de vida: Es común pensar en la esperanza de vida en términos de años, sin embargo, los fabricantes de las baterías especifican la esperanza de vida en términos de cantidad de ciclos. Las baterías pierden capacidad con el tiempo y se consideran que han llegado al fin de su vida cuando se ha perdido un 20% de su capacidad original.

d. Voltaje: Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2, 6, 12 o 24V.

e. Condiciones ambientales: Las baterías son sensibles a su entorno. Los fabricantes generalmente evalúan las baterías a 25°C. La capacidad de la batería decrecerá a menores temperaturas, pero incrementará su vida útil. La capacidad de la batería se incrementará a temperaturas mayores pero su vida útil se verá reducida.

2.18.2 Consideraciones de seguridad y mantenimiento

- Mantener las baterías alejadas de los espacios habitados.
- Ventilar la caja de la batería hacia el exterior.
- Mantener los cables de la batería del mismo largo.

- Las conexiones en paralelo deben ser mínimas.
- Los cables hacia el inversor deben salir por debajo de la caja de las baterías.
- Lo último que se conecta son las baterías.
- Nunca mezclar diferentes tipos de baterías.
- No mezclar baterías nuevas con baterías viejas.
- No usar joyas de metal cuando se manipulan las baterías.
- Manipular las baterías con herramientas adecuadas que tenga materiales aislantes.
- Colocar las baterías en un sitio donde no lleguen los rayos de sol y sea ventilado, para que los gases se dispersen fácilmente y no se moje con la lluvia.
- Tener en cuenta, que las baterías deben estar cerca del regulador de carga.

2.19 Controladores

El controlador fotovoltaico trabaja como un regulador de voltaje. La principal función es evitar que la batería sea sobrecargada por el sistema de paneles y protegerla de que se descargue demasiado por las cargas de consumo de corriente directa.

El controlador monitorea constantemente el voltaje de la batería, cuando las baterías están completamente cargadas, el controlador detendrá o disminuirá la cantidad de corriente que circule desde los paneles hacia las baterías. Cuando las baterías se descargan a un nivel muy bajo, desconectarán la corriente que fluye de las baterías a los aparatos conectados (cargas de consumo de CD).

Si se usa más de un controlador, es necesario dividir el arreglo en sub-arreglos. Cada sub-arreglo será conectado a su propio controlador y todos ellos conectados al banco de baterías. Véase la figura 2.22.



Figura 2. 22 Controlador

Fuente. El actor

2.20 Inversores

Los SFV generan energía de corriente directa y las baterías solo pueden almacenar la energía en forma de corriente directa. La mayoría de los aparatos y cargas operan con corriente alterna. Por su naturaleza, la CD no es compatible con la CA, por lo que se hace necesario un “puente” o inversor entre las dos. Véase la figura 2.23.



Figura 2. 23 Inversor

Fuente. El autor

El propósito fundamental del inversor en un SFV es cambiar la CD de los módulos fotovoltaicos y de las baterías a CA y finalmente, posibilitar el funcionamiento de las cargas de CA. Se basan en el empleo de dispositivos electrónicos que actúan a modo de interruptores, permitiendo interrumpir las corrientes e invertir su polaridad.

2.20.1 Especificaciones de inversores en SFV autónomos

a. Potencia de salida de CA (Watt): Nos indica cuanta potencia puede brindar un inversor durante su operación. Se debe elegir un inversor que satisfaga la

demanda pico del sistema. Es decir, el inversor debe ser capaz de manejar todas las cargas de CA que puedan estar encendidos al mismo tiempo.

b. Voltaje de entrada de CD desde la batería: El inversor especificará que salida de voltaje nominal CD se permite desde las baterías. Los voltajes típicos son 12V, 24V y 48V.

c. Voltaje de salida: El inversor especificará el voltaje de salida de CA. El valor típico es de 220V.

d. Frecuencia: Un inversor debe mantener una salida de 50 a 60Hz.

Las características deseables en un inversor son:

- Alta eficiencia, la mayoría de los inversores actualmente convierten un 90% o más de la CD de entrada en CA de salida.
- Baja pérdida de espera, el inversor debe mantener 50 a 60Hz en la salida a pesar de que varíen las condiciones de entrada.
- Distorsión armónica, el inversor debe suavizar los picos de salida indeseables para minimizar efectos de calentamiento dañinos en los aparatos conectados.
- Fiabilidad, el inversor debe brindar la confianza de un bajo mantenimiento largo plazo.

2.21 Cableado del SFV

Los sistemas de cableado de CD son diferentes a los sistemas de CA. Los sistemas CD usan bajo voltaje y fluyen en una sola dirección.

Los tipos de cables se diferencian en el material conductor y el aislante. Los materiales conductores más comunes son el cobre y el aluminio. El cobre tiene mayor conductividad y por lo tanto puede llevar más corriente que el de aluminio. El conductor puede ser sólido o retorcido. Los conductores retorcidos tienen mayor flexibilidad y son los más recomendados cuando se requieren grandes extensiones de cable.

El aislamiento que recubre el conductor debe brindar protección contra el calor, la abrasión, la humedad, la radiación ultravioleta y los agentes químicos. Los cables que serán expuestos a la radiación solar deberán estar etiquetados

“resistentes al sol”. El aislamiento del cable tiene un código de colores para designar su función y uso.

Para la selección del tamaño de los cables se deben considerar dos criterios importantes:

a. Capacidad de corriente, que está referida a la capacidad que tiene de transportar corriente. Mientras más grueso es el alambre tiene mayor capacidad de transportar corriente. El uso de un cable con menor capacidad de corriente puede provocar el sobrecalentamiento, lo que significa pérdida de energía y eficiencia, que el material aislante se derrita y se produzca un cortocircuito.

b. Caída de voltaje o de tensión, que es la pérdida de tensión a causa de la longitud y resistencia del cable. Está en función de tres parámetros: el calibre del cable, la longitud del cable y la corriente que fluye por el cable. A mayor longitud del alambre existe una mayor resistencia al flujo de la corriente. Líneas de alambre excesivamente largas darán lugar a pérdidas de energía que van a las cargas y una disminución de la eficiencia del sistema. También reducirá la esperanza de vida de los aparatos y equipos. Usar un cable más grueso y/o acortar la longitud de los cables son soluciones para evitar la caída de voltaje.

Considere siempre que el propietario del sistema podría desear añadir más cargas al sistema, sin cambiar los cables de las líneas conductoras.

2.22 Conexión a tierra

La conexión a tierra permite limitar los voltajes debido a los relámpagos y la sobretensión en las líneas o contactos no intencionales con líneas de voltajes superiores. También, permite estabilizar los voltajes y brindar la tierra como un punto de referencia común.

La conexión del sistema a tierra se realiza tomando uno de los conductores de un sistema de dos alambres y conectándolos a tierra. Se muestra en la figura un esquema de sistema puesta tierra de una vivienda con un sistema fotovoltaico. Véase la figura 2.24.

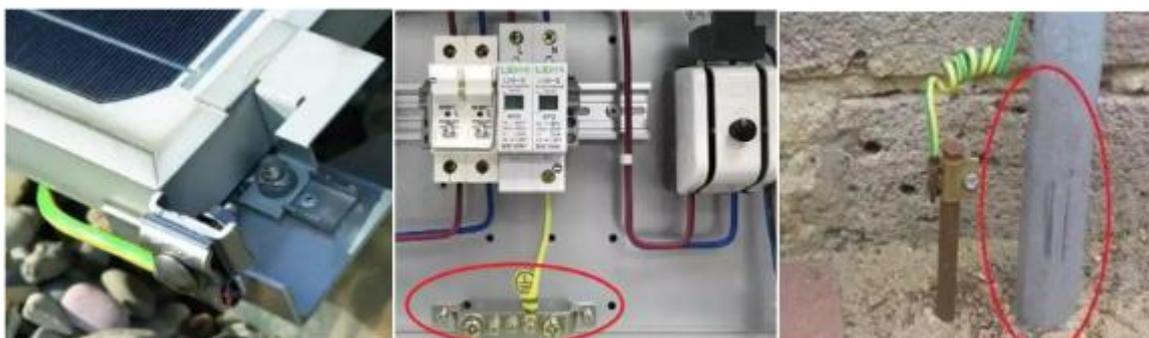


Figura 2. 24 Puesta a tierra en sistema fotovoltaico

Fuente: (Bluesun, 2016)

Se muestra la conexión de puesta a tierra del conductor verde-amarillo con el panel fotovoltaico, también del dispositivo de protección con tornillo aterrizado a tablero de distribución eléctrica, finalmente la conexión del conductor a la varilla de puesta a tierra.

2.23. Cargas

Los dispositivos que en su operación utilizan energía eléctrica son conocidos como cargas. Con frecuencia son las cargas las que determinan el tamaño y el costo de SFV. Las cargas CD son dispositivos, aparatos, motores y equipos alimentados con corriente directa (CD). Y las cargas CA son dispositivos, aparatos, motores y equipos alimentados por corriente alterna (CA).

Al momento de diseñar el sistema se pueden reducir los costos a través del uso eficiente de la energía disponible, analizar rigurosamente los requisitos energéticos de las cargas para poder identificar las oportunidades de conservación.

Por ejemplo, muchos electrodomésticos utilizan resistencia eléctrica para funcionar. Como regla general, el alimentar cargas con resistencia eléctrica, puede ser económicamente prohibitivo para SFV domiciliarios o de pequeña escala. Ejemplos de estas cargas son calentadores eléctricos de agua y hornos eléctricos. Sin embargo, algunos electrodomésticos como tostadoras, secadores de pelo y otras, si bien exigen cantidades significativas de potencia instantánea, pueden ser alimentados por SFV, porque estas cargas no se utilizan por largos periodos de tiempo y su consumo general de energía es bajo.

Otra forma de optimizar el uso de energía es la elección de cargas más eficientes, por ejemplo, las lámparas incandescentes pueden ser reemplazadas por lámparas LED, que brindan igual iluminación y usan cerca de un cuarto de potencia.

CAPÍTULO 3: CÁLCULOS PARA UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL

3.1 Parámetros de la célula solar

Los parámetros fundamentales de la célula solar son las siguientes:

- **Corriente de iluminación (I_L):** la corriente generada cuando incide la radiación solar sobre la célula.
- **Corriente de oscuridad:** es debido a la recombinación de los pares electrón-hueco que se produce en el interior del semiconductor.
- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}):** la máxima tensión que se obtiene en los extremos de la célula solar, que se da cuando no está conectada a ninguna carga. Es una característica del material con el que está construida la célula.
- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** máximo valor de corriente que puede circular por la célula solar. Se da cuando sus terminales están cortocircuitados.

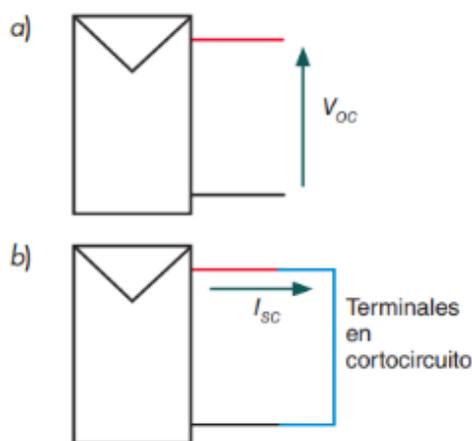


Figura 3. 1 Lugar en que se mide la tensión en circuito abierto (a) y la corriente de cortocircuito (b). El símbolo en forma de «sobre» representa una célula solar.

Fuente. (PW Education., 2017)

Cuando la célula solar es conectada a una carga, los valores de tensión e intensidad varían. Existirán dos de ellos para los cuales la potencia entregada sea máxima: V_m (tensión máxima) e I_m (intensidad máxima), que siempre serán menores que V_{oc} e I_{sc} . En función de estos valores, la potencia máxima que puede entregar la célula solar será:

$$P_m = V_m I_m$$

Esto permite definir un parámetro de la célula solar que recibe el nombre de factor de forma (FF) y que se calcula mediante la fórmula:

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{OC} I_{SC}}$$

De esta manera, el factor de forma es el cociente entre la máxima potencia que puede entregar la célula a la carga y el producto de la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. En las células solares más habituales, los valores típicos de FF son 0,7 o 0,8.

3.2 Potencia de la célula solar

La potencia que proporciona una célula de tamaño estándar (supóngase de 10×10 cm) es muy pequeña (en torno a 1 o 2 W), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Es de este hecho de donde surge el concepto de panel solar o módulo fotovoltaico, cuyos elementos y características se acaba de ver.

Según la conexión eléctrica que se haga de las células, se puede encontrar con diferentes posibilidades:

- ❖ La conexión en serie de las células permitirá aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.
- ❖ La conexión en paralelo permitirá aumentar la intensidad total del conjunto. Véase la figura 3.2.

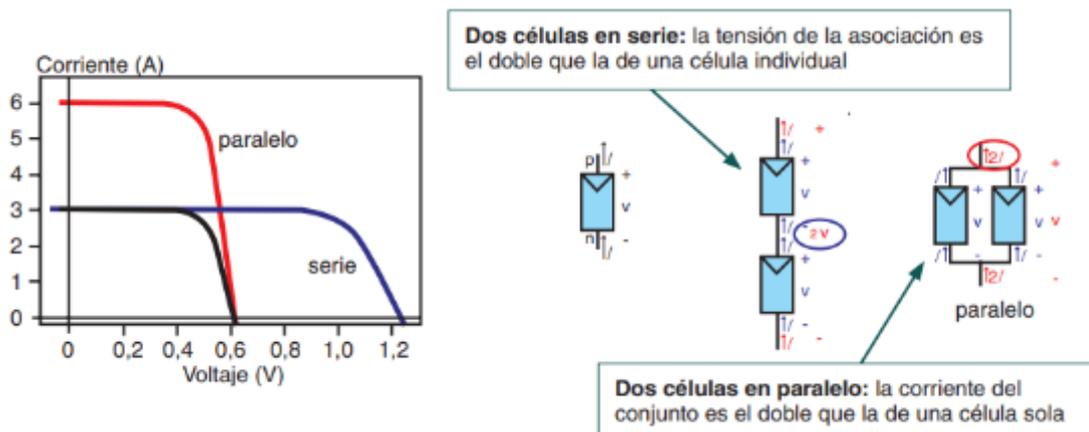


Figura 3. 2 Asociación de células solares.

Fuente. (MH Educación, 2017)

Si se necesita aumentar la tensión, se unirá en serie; si se desea aumentar la corriente, se hará la asociación en paralelo.

3.3. Principales parámetros. Curvas características

A la hora de trabajar con los paneles solares se debe saber qué datos proporciona el fabricante, con el fin de utilizarlos correctamente. En los catálogos aparecen todos aquellos parámetros que son de utilidad a la hora de realizar el diseño de la instalación.

Entre toda la información que proporciona el fabricante, se verá cuál puede ser de mayor relevancia, desde el punto de vista práctico, a la hora de elegir un panel solar. No obstante, hay que tener cuidado, ya que los valores proporcionados por el fabricante son obtenidos siempre en unas determinadas condiciones de irradiación solar y temperatura ambiente. En la práctica siempre existirá una pequeña desviación sobre los valores teóricos cuando el panel esté colocado en la instalación.

3.3.1 Obtención de los valores de tensión e intensidad

Dada la siguiente gráfica de un panel solar, facilitada por el fabricante, se obtiene los valores de I_m y V_m .

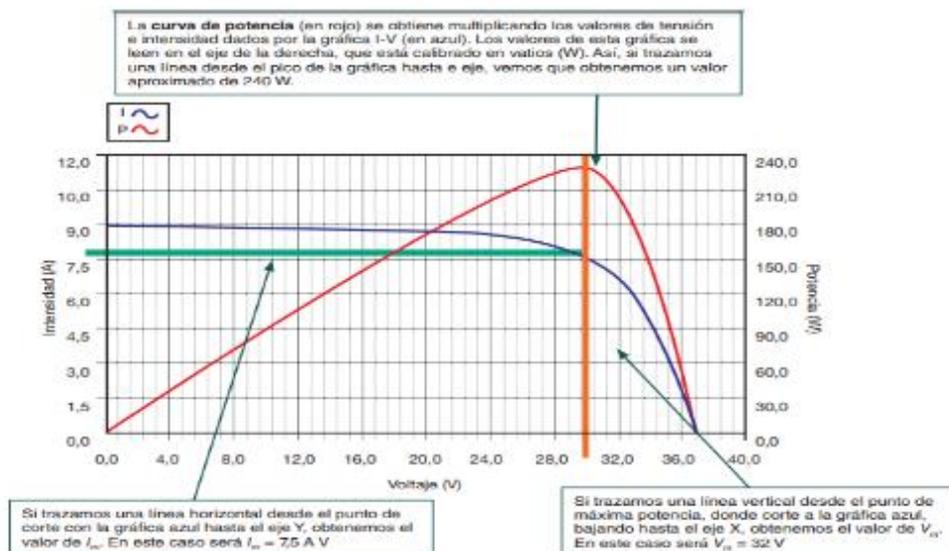


Figura 3. 3 Valores de tensión e intensidad en el panel a máxima potencia.

Fuente. (Tecnosol, 2018)

3.3.2 Interpretación de una hoja de características

A partir de la hoja dada por el fabricante de un panel solar, se va a analizar los datos que en ella aparecen.

Tabla 3. 1 Tabla de características eléctricas

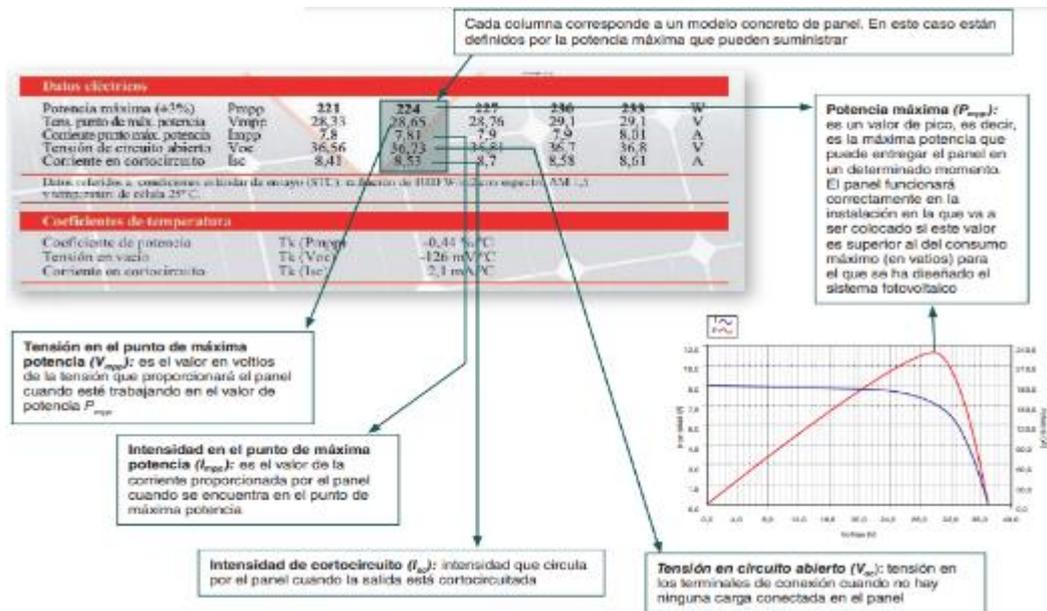


Figura 3. 4 Datos característicos de un panel solar

Fuente. (MH Educación, 2017)

3.3.3 Características físicas

El fabricante da una descripción del aspecto físico del panel: medidas, peso, materiales con los que está construido, etc. Estos valores serán importantes a la hora de elegir los soportes para la sujeción del mismo.

Características del producto:

- ❖ Vidrio solar altamente transparente de 4mm y marco de aluminio anodizado para una perfecta estabilidad y una larga duración.
- ❖ Células monocristalinas de 156 ×156mm con elevados niveles de eficiencia.
- ❖ Conexiones eléctricas con conectores Tyco.
- ❖ Potencias: 221 Wp, 224 Wp, 227Wp, 230Wp y 233Wp.
- ❖ Tensión nominal del sistema: 1.000 V.
- ❖ Medidas: 1.674 × 998 × 40 mm.
- ❖ Peso: 23 kg.

3.3.4 Variación de parámetros con la temperatura

El fabricante proporciona los coeficientes de temperatura sobre los parámetros que se debe tener en cuenta a la hora de la colocación del panel. Esto da idea de la variación que sufren los parámetros del panel a medida que aumenta la temperatura. Véase la figura 3.5

Coeficientes de temperatura		
Coeficiente de potencia	Tk (Pmpp)	-0,44 %/°C
Tensión en vacío	Tk (Voc)	-126 mV/°C
Corriente en cortocircuito	Tk (Isc)	2,1 mA/°C

Figura 3. 5 Coeficientes de temperatura

Fuente: (Cimax, 2016)

Ejemplo: la potencia disminuye un 0,44 % por cada grado centígrado que aumenta la temperatura.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA AULA COMUNAL

Se detalla los cálculos para un sistema fotovoltaico para el aula comunal del proyecto comunitario UCSG denominado Consultorio Urbano. Esta infraestructura es un aula sencilla, prácticamente 4 paredes, posee ventanas y un espacio físico de 43 m². En la figura 4.1 se muestra el aula comunal.



Figura 4. 1 Vista del aula comunal del proyecto Consultorio Urbano

Fuente: autor

En la figura 4.2 se muestra el interior del aula comunal, a simple vista se aprecia que necesita la instalación eléctrica nuevamente, pues existía y fue desmantelada por personas ajenas al sector de cooperativas Virgen del Cisne y 25 de julio.



Figura 4. 2 Interior de aula comunal

Fuente: autor

4.1 Cálculos para determinar orientación solar

Para calcular la Inclinación óptima en un período de uso anual se aplica la ecuación (1):

$$\beta = 3.7 + 0.69 * (Lat.) \quad (1)$$

Donde:

$$\beta = \text{Inclinación Óptima}$$

$$Lat = \text{Latitud}$$

Entonces:

$$\beta = 3.7 + 0.69 * (2.38^\circ)$$

$$\beta = 5.3422^\circ \approx 5.34$$

4.1.1 Cálculo de Pérdidas por Orientación e Inclinación

Se ha establecido que dependiendo el caso se puede tener desde el 10 a 40% de pérdidas. El caso general cubre el 10% y se considera cuando se quieren instalar módulos fotovoltaicos sobre una losa, el caso de superposición permite el 20% cuando se tienen techos muy inclinados y en el caso de integración arquitectónica se refiere a sustituir ciertos elementos estructurales como ventanas solares para unir a las edificaciones. Para calcular las pérdidas por Orientación e Inclinación se aplica la ecuación (2) o (3):

$$P_{OI} = 1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{Optima})^2 \quad ; \quad \beta \leq 15^\circ \quad (2)$$

$$P_{OI} = 1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{Optima})^2 + 3.5 * 10^{-5} * \alpha^2 \quad ; \quad 15^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \quad (3)$$

Donde:

$$P_{OI} = \text{Pérdidas por Orientación e Inclinación}$$

$$\beta_{Optima} = \text{Inclinación Óptima}$$

$$\beta = \text{Inclinación}$$

Entonces:

$$P_{OI} = 1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{Optima})^2 \quad ; \quad \beta \leq 15^\circ \quad (2)$$

$$P_{OI} = 1.2 * 10^{-4} * (0 - 5)^2$$

$$P_{OI} = 0.003 \approx 3\%$$

Existe el criterio de masa de aire y esto se denomina a la distancia que tiene que recorrer el haz de luz o rayo solar desde el momento que ingresa a la atmósfera hasta que llega a un punto determinado en el planeta que sería nuestra instalación. El Ecuador se encuentra en una posición perpendicular, por lo tanto, la masa de aire en el sitio de estudio es de 1 ya que su recorrido del haz de luz es más corto. Para su cálculo se aplica la ecuación (3)

$$Masa\ de\ Aire = AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (3)$$

Donde:

$$\theta = \text{Altura Solar}; \theta = 90^\circ - \text{Lat.} - 23.45^\circ$$

En este caso se utiliza únicamente la latitud debido a la posición perpendicular:

$$Masa\ de\ Aire = AM = \frac{1}{\cos(2.38^\circ)} = 1$$

4.1.2 Cargas y Consumos Eléctricos

Para un correcto funcionamiento de los equipos de consumo se debe sobredimensionar el sistema de generación y acumulación, para dimensionar correctamente se debe definir primero los consumos a utilizar, luego se dimensiona el tamaño del inversor y por último el sistema generador.

El regulador y sistema de acumulación se dimensionará a partir de esos tres cálculos.

Tabla 4. 1 Cargas básicas para aula comunal

CANTIDAD	EQUIPO	POTENCIA INDIVIDUAL	POTENCIA ACUMULADA	TIEMPO	ENERGIA
#	DESCRIPCIÓN	[W]	[W]	[horas]	[Wh]
1	ventilador	60	60	4	240
1	PC	55	55	4	220
2	focos	15	30	4	120
1	varios	100	100	4	400
TOTALES			245		980

Nota: Las cargas del aula comunal son pocas por cuanto los metros de construcción son menos 45 m²

4.2 Cálculo de horas solares

Para dimensionar correctamente se debe establecer el peor escenario, es decir, se selecciona el mes donde se obtenga menor cantidad de horas solares pico.

Tabla 4. 2 Registro de horas solares

Año	Mes	H(i)_m	Días	HSP	Tm
2021	Ene	151.26	31	4.88	24.9
2021	Feb	148.11	29	5.11	24.5
2021	Mar.	165.41	31	5.34	24.8
2021	Abr.	165.17	30	5.51	25.4
2021	May.	167.41	31	5.40	25.7
2021	Jun.	160.19	30	5.34	25.1
2021	Jul.	154.86	31	5.00	24.4
2021	Ago.	159.3	31	5.14	23.3
2021	Sep.	174.6	30	5.82	23.4
2021	Oct.	155.67	31	5.02	23.5
2021	Nov.	160.25	30	5.34	23.7
2021	Dic.	177.19	30	5.91	24.4

Nota: Se reviso los registros de horas solares desde el 2015 hasta el 2021.

Se define la energía de consumo máximo con la ecuación (4):

$$E_{CM} = 1.2 * C$$

Donde:

$$E_{CM} = \text{Energía de Consumo Máximo}$$

$$C = \text{Consumo}$$

Entonces:

$$E_{CM} = 1.2 * C = 1.2 * 980 \text{ Wh}$$

$$E_{CM} = 1176 \text{ Wh}$$

Se define la Potencia Nominal con la ecuación (5):

$$E = P_n * t * PR \quad (5)$$

Donde:

$$P_n = \text{Potencia Nominal}$$

$$E = \text{Energía}$$

$t = \text{tiempo de uso (Hora solar pico)}$

$PR = \text{Eficiencia del sistema}$

Entonces:

$$E = P_n * t * PR \quad (6)$$

$$P_n = \frac{E}{t * PR}$$

$$P_n = \frac{1176 \text{ Wh}}{4.88 * 0.6570} = 366.79 \text{ W}$$

Se define la Potencia Pico con la ecuación (7):

$$P_p = 1.2 * P_n \quad (7)$$

Donde:

$P_p = \text{Potencia Pico}$

Entonces:

$$P_p = 1.2 * 366.79 \text{ W} = 440.15 \text{ W}$$

Se define el número de paneles Fotovoltaicos con la ecuación (8):

$$No_{\text{Paneles}} = \frac{P_p}{P_{\text{panel}}}$$

Donde:

$No_{\text{Paneles}} = \text{Número de paneles fotovoltaicos}$

$P_{\text{panel}} = \text{Potencia del panel fotovoltaico}$

$$No_{\text{Paneles}} = \frac{440.15 \text{ W}}{280 \text{ W}} = 1.57 \approx 2 \text{ Paneles FV}$$

4.3 Cálculo del Inversor

Para hallar el dimensionamiento del inversor se considera que la potencia pico será la cantidad de paneles calculados por la capacidad del módulo fotovoltaico así se determina la potencia necesaria del inversor, aplicando la ecuación (9):

$$P_p = No_{\text{Paneles}} * \text{Capacidad del Panel} \quad (9)$$

Entonces

$$P_p = 2 * 280 W_p = 560 W$$

Si se requiere verificar que el Inversor que se va a seleccionar sea el ideal para el sistema fotovoltaico se realiza un cálculo para determinar el rango de aceptación entre 1.1 y 1.3 evitando la falta de capacidad o sobredimensionamiento. Para este cálculo se utilizan todas las capacidades del Inversor Phoenix Marca Victron Energy Blue Power dividiéndola entre la Potencia total de los paneles.

Tabla 4. 3 Datos del inversor seleccionado

POTENCIA DEL INVERSOR	POTENCIA TOTAL DE MÓDULOS	RANGO 1.1 - 1.3
250 VA	560 W	2.240
375 VA	560 W	1.493
500 VA	560 W	1.120
800 VA	560 W	0.700
1200 VA	560 W	0.467

Nota: resaltado en amarillo se selecciona un inversor de 500 VA.

Se ha considerado instalar un Inversor Phoenix Marca Victron Energy Blue Power con voltaje regulable a 12 VDC / 500 VA con salida a 120 VAC - 60 HZ. En el Anexo 2 se detalla características del inversor seleccionado.

4.4 Cálculo de Módulos Fotovoltaicos

A continuación, se emplea la siguiente tabla para definir el voltaje del sistema.

Para calcular el número de módulos fotovoltaicos en serie se utiliza la ecuación (10):

$$N_s = \frac{V_{SB}}{V_{MPP}} \quad (10)$$

Donde:

N_s = Número de Módulos en Serie

V_{SB} = Voltaje del Sistema de Baterías

V_{MPP} = Voltaje MPP del módulo

$$N_s = \frac{12 V}{32.3 V} = 0,37 \rightarrow 1$$

Como se observa el número de paneles en serie es 0.37 se debe considerar como mínimo un panel en “serie” para efectuar los cálculos del número de módulos en paralelo.

Para calcular el número de paneles fotovoltaicos en paralelo se emplea la ecuación (11)

$$N_p = \frac{N_T}{N_s}$$

Donde:

$N_p =$ *Número de paneles en paralelo*

$N_T =$ *Número Total de paneles*

$N_s =$ *Número de paneles en serie*

$$N_p = \frac{2 \text{ paneles}}{1 \text{ panel}} = 2 \text{ paneles en paralelo}$$

4.5 Cálculo del acumulador o batería

Para determinar el tamaño del sistema acumulador o banco de baterías se utiliza la ecuación (12) definiendo los siguientes parámetros:

$$C_{SB} = \frac{E_{CM} * D_{AUT}}{V_{SB} * MPD} \quad (12)$$

Donde:

$C_{SB} =$ *Capacidad del Sistema de Baterías*

$E_{CM} =$ *Energía de Consumo Máximo*

$D_{AUT} =$ *Días de Autonomía*

$V_{SB} =$ *Voltaje del Sistema de Baterías*

$MPD =$ *Maxima profundidad de descarga (%)*

Entonces;

$$C_{SB} = \frac{1176 \text{ Wh} * 3 \text{ días}}{12 \text{ Vdc} * 70\%} = 420 \text{ Ah}$$

Ahora se calcula el número de Baterías en serie con la ecuación (13):

$$V_{SB} = N_S * V_B \quad (13)$$

Despejando:

$$V_{SB} = N_S * V_B \quad (13)$$

$$N_S = \frac{V_{sb}}{V_B}$$

Donde:

$V_{SB} = \text{Voltaje del Sistema de}$
 Baterías

$N_S = \text{Número de Baterías en Serie}$

$V_B = \text{Voltaje de la Batería}$

Entonces:

$$N_S = \frac{12 \text{ V dc}}{12 \text{ V dc}} = 1$$

Ahora se calcula el número de Baterías en paralelo con la ecuación (14):

$$C_{SB} = N_P * C_B \quad (14)$$

Despejando:

$$N_p = \frac{C_{sb}}{C_B}$$

Donde:

$C_{SB} = \text{Capacidad del Sistema de Baterías}$

$N_p = \text{Número de Baterías en Paralelo}$

$C_B = \text{Capacidad de la Batería}$

Entonces:

$$N_p = \frac{420 \text{ Ah}}{105 \text{ Ah}} = 4 \text{ Baterías en paralelo}$$

4.6 Cálculo del Sistema Regulador

Al realizar el cálculo del regulador se lo hace con el objetivo de controlar los procesos de carga y descarga de la batería y poder proteger el sistema fotovoltaico, se toma como datos la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico $I_{SC} = 9.2 \text{ A}$, número de paneles, potencia y eficiencia del inversor.

Corriente de entrada al Regulador, se emplea la ecuación (15):

$$I_n = 1.25 * I_{sc} * N_p$$

Donde:

$I_n =$ Corriente de entrada al
Regulador

$I_{sc} =$ Corriente de Cortocircuito del
Módulo

$N_p =$ Número de paneles

Calculando:

$$I_n = 1.25 * 9.2 \text{ A} * 2 = 23 \text{ A}$$

Corriente de salida del Regulador se emplea la ecuación (16):

$$I_{out} = 125 * \frac{\frac{P_{INV}}{n_{INV}}}{V_{BB}}$$

Donde:

$I_{out} =$ Corriente de salida del
Regulador

$P_{INV} =$ Potencia del Inversor

$n_{INV} =$ Eficiencia del Inversor

$V_{SB} =$ Voltaje del Sistema de
Baterías

Calculando:

$$I_{out} = 125 * \frac{\frac{400 W}{90\%}}{12 V dc} = 46.3 A.$$

En la figura 4.3 se muestra un escenario de incidencia de rayos solares según el lugar en la tierra, Se conoce que en el Ecuador los rayos solares tienen mayor tiempo de incidencia favorable, pues llegan casi de forma vertical en horas de 10 am a 3 pm. En este lapso de tiempo se aprovecha el efecto fotovoltaico para producir energía.

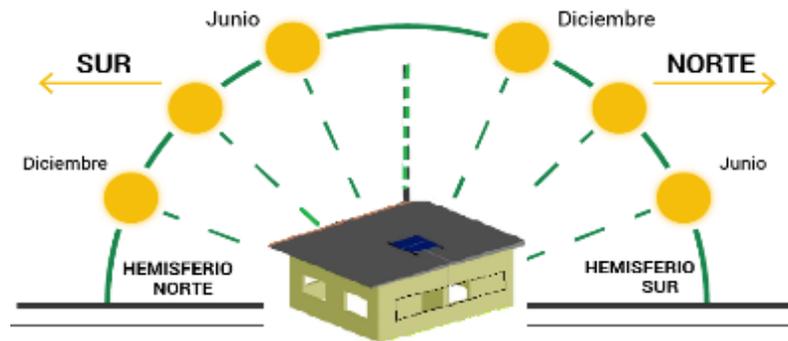


Figura 4. 3 Escenario de radiación solar

Fuente: autor

4.7 Protecciones eléctricas en corriente continua

Los elementos de protección en corriente continua son de vital importancia evitando el daño desde módulos fotovoltaicos, conductores, elementos electrónicos como regulador e inversor es por eso que deben cumplir con especificaciones técnicas que aseguren la correcta protección del sistema evitando daños al ser humano.

Se puede definir un sistema de protección como el grupo de equipos (transformadores de instrumento, relés, etc.) que en conjunto se utilizan para la protección de equipos o elementos de una red eléctrica. Este aspecto técnico es para corriente alterna. En el caso de la corriente continua, energía que producen los paneles o módulo fotovoltaicos se toman otras consideraciones.

Los dispositivos de protección frente a sobre corrientes se deben dimensionar de manera que puedan transportar no menos del 125% de la suma de las corrientes en cortocircuito de todos los módulos

fotovoltaicos en paralelo. A nivel general, las protecciones deben garantizar protección frente a:

- Sobre corrientes
- Contactos eléctricos
- Sobre tensiones

Para lograr estos propósitos se pueden utilizar fusibles o Interruptores magnetotérmicos. Se detalla este último elemento de protección, que es conocido como llave térmica o breaker. El interruptor termomagnético tiene la capacidad de cortar la corriente, cuando esta sobrepasa valores determinados en la protección. Siempre están conectados en serie con la instalación

Al estar conectados los paneles en paralelo por medio de conectores especiales hacia la caja de elementos se conoce que la corriente de cortocircuito en paralelo se duplicará llegando a superar los 25 A, es por eso que se selecciona un interruptor termomagnético 25 A, marca Schneider Electric IC60N.



Figura 4. 4 Termomagnético Schneider Electric IC60N.

Fuente: (FCM, 2015)

4.8 Puesta a tierra en un sistema fotovoltaico

En una instalación fotovoltaica residencial tienen la ventaja de que no existe riesgo eléctrico debido a contactos directos o indirectos. Sus inconvenientes son que no se pueden detectar los fallos de aislamiento y que la instalación puede cargarse electrostáticamente hasta un potencial

que provoque descargas en forma de chispas, con riesgo de incendio en la zona de baterías.

Es muy importante conectar a tierra los paneles solares y el equipo. Si hay descargas eléctricas en la zona se debe contar con el sistema de puesta a tierra y pararrayos, el hecho de no conectar a tierra su sistema solar podría provocar daños en su producto. Al igual que las tomas de corriente residencial, todo está unido con un cable de cobre. Este cable de cobre desnudo se entierra en el suelo o en los cimientos para que cualquier corriente eléctrica perdida se dirija lejos de sus aparatos en caso de que se produzca un rayo o un cortocircuito.

La electricidad seguirá el camino de la menor resistencia, aunque es difícil saber realmente cuál es el camino, se puede tomar las precauciones adecuadas para dirigir la sobretensión a un lugar más seguro.

Al igual que en una instalación eléctrica residencial, un sistema solar fotovoltaico debe estar conectado a tierra. Esto incluye todo el equipo conectado en el sistema; inversores, montaje, controladores, y cualquier otro equipo que compone su sistema. Véase la figura 4.5.

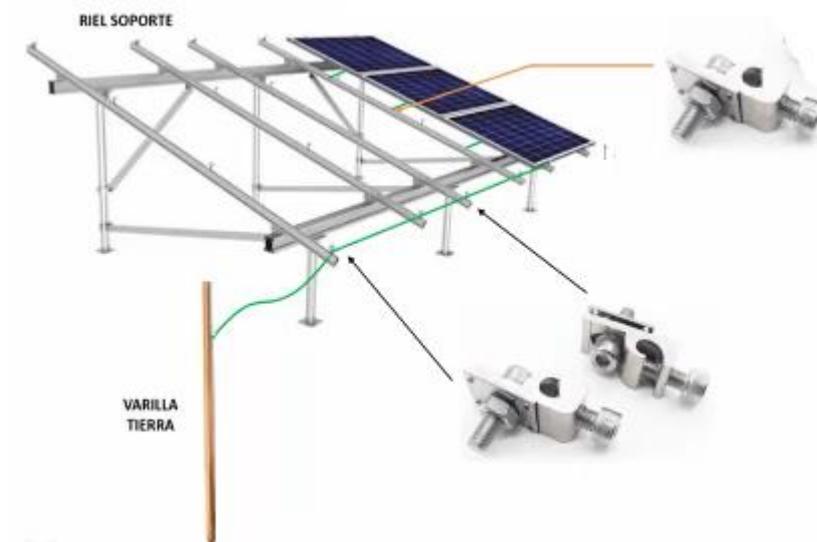


Figura 4. 5 Puesta a tierra en sistema fotovoltaico residencial

Fuente: (3 en 1 Group, 2017)

Se utiliza una varilla copperweld de 16 milímetros de diámetro y con longitud de 1.8 metros y con un conductor de puesta a tierra de No. 8 AWG de cobre

4.9 Diseño de instalación eléctrica para aula comunal

Se realiza el diseño eléctrico en el aula comunal, se indica que el centro de carga puede ser de 6 espacios, un circuito para la iluminación y otro circuito para los tomacorrientes. Al plantearse una instalación con pocos circuitos eléctricos, es factible utilizar el sistema fotovoltaico y cuyos cálculos indican que para las cargas a alimentarse es factible obtener una autonomía de 3 horas.

En la figura 4.6 se muestra el plano de la instalación eléctrica tanto con tomacorrientes y luminarias.

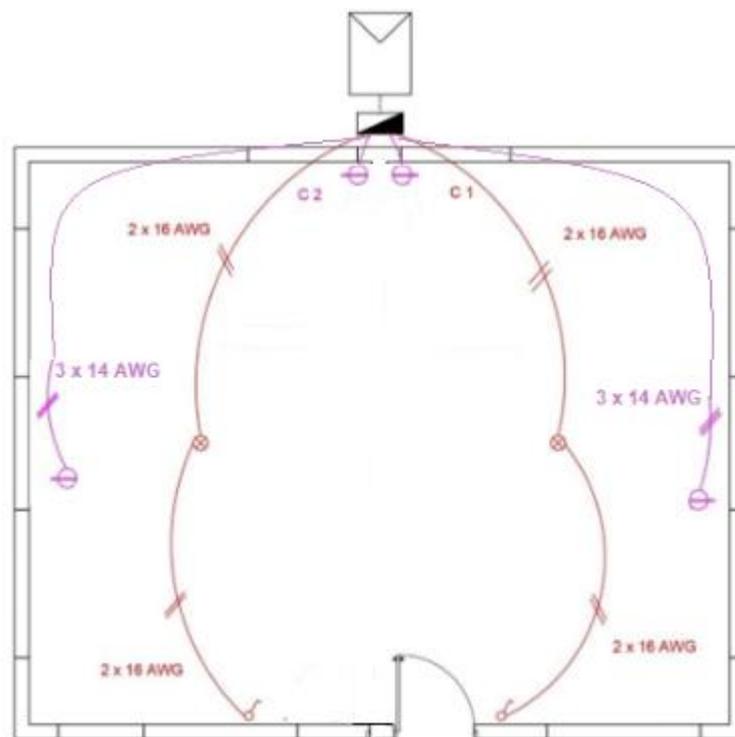


Figura 4. 6 Diseño de instalación eléctrica

Fuente: autor

4.10 Sistema fotovoltaico para aula comunal

En la figura 4.7 se muestra el diagrama unifilar de la propuesta con paneles fotovoltaicos para el aula comunal del proyecto UCSG “Consultorio Urbano”

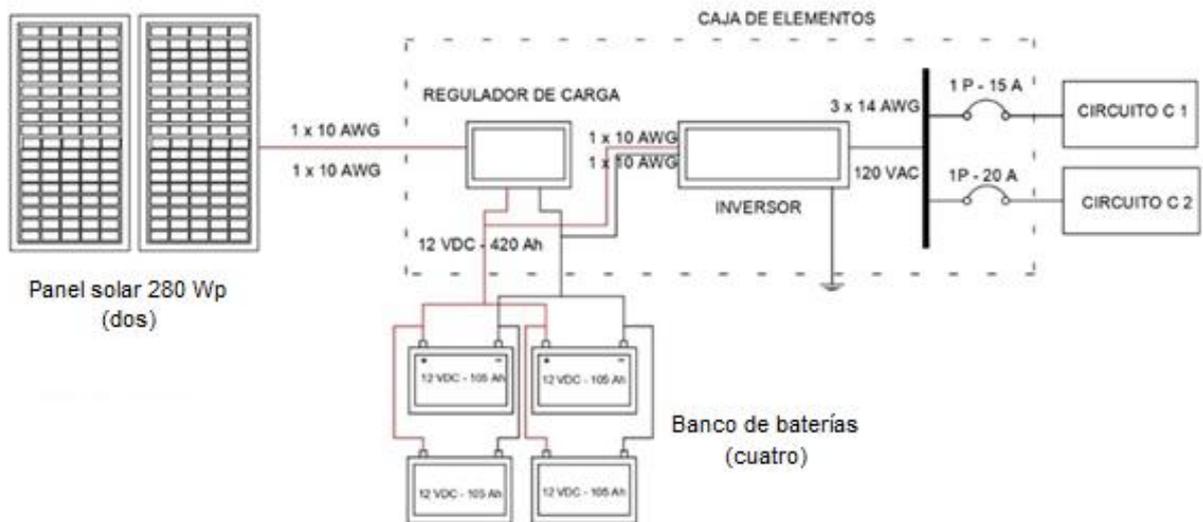


Figura 4. 7 Propuesta de sistema fotovoltaico para aula comunal

Fuente: autor

Se considerarían los cálculos realizados y sus fórmulas, para obtener mayor cantidad de horas de autonomía a la que se tiene.

Conclusiones

La normativa para instalaciones eléctricas a nivel de baja tensión residencial es la NEC- SB-IE, el cual tiene referencias de otras normas internacionales como IEC 60617 y NATSIM.

La NEC SB-IE es de reglamento general y obligatorio a nivel nacional, y es el MIDUVI el organismo de controlar su cumplimiento

Se ha calculado en base a normativas de cargas para circuito de iluminación y tomacorrientes el calibre de conductores, así como de las protecciones eléctricas en aula comunal.

Por cuanto el área de la construcción del aula comunal es menor a 45 m²

Se determino conductores para iluminación calibre 16 dos para luminaria led de 15 vatios, y 4 tomacorrientes dobles polarizados, con conductor calibre 12. Estos son denominados circuito C1 y C2 respectivamente.

Se determinó el equipamiento de un sistema fotovoltaico básico para el aula comunal con autonomía de 3 horas. Se utilizará 2 paneles fotovoltaicos de 280 Wp.

Se debe emplear 4 baterías de 12 V 420 AH, para tener autonomía de 3 horas en el día.

El regulador de carga debe soportar intensidad de 46.3 A. por lo tanto, el regulador de carga será de tipo MPPT 100/50 el cual es capaz de separar la tensión de funcionamiento de los paneles solares de la tensión de la batería.

El equipo Inversor se selecciona con ~~v~~ regulable a 12 VDC / 500 VA con salida a 120 VAC - 60 HZ.

El sistema contará con varilla de cobre de 1.80 m y conductor calibre 6 con accesorios para fijación con estructura que sujetará los dos paneles fotovoltaicos.

Recomendaciones

Se recomiendan criterios de mantenimiento al sistema fotovoltaico:

- Verificar que no haya proyección de sombras sobre el módulo
- Limpieza del módulo (use un paño suave, agua y detergente no abrasivo).
- Revisar terminales y conexiones; en busca de terminales flojas, corroídas o golpeadas, apriete y/o reemplace si es necesario.
- Verificar el ángulo de inclinación y corregir si es necesario
- Medir la corriente de fuga
- Medir la resistencia de aislamiento
- Medir la continuidad a tierra.
- Medir el voltaje de salida del módulo según especificaciones del fabricante
- Revisar el apriete de los tornillos de montaje en la estructura
- Revisar estructura en busca de tornillos flojos, soldaduras agrietadas, anclaje firme

Bibliografía

- 3 en 1 Group. (2017). *Esquema de tierra en instalación fotovoltaica*. Retrieved from <https://3en1group.es/energia/esquema-de-tierra-en-instalacion-fotovoltaica/>
- Alianza Eléctrica. (2016). *Conductores eléctricos*. Retrieved from <https://tienda.alianzaelectrica.com/products/psd-cuadriplex-3-1-cal-3-0-1-0-600v-viakon-r128>
- Alor, L. (2019). *Propuesta para la mejora de la eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido en plantas cerveceras en eárea de soplado de botellas PET según la norma ISO 11011:2013*". Retrieved from http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/2191/1/Luis%20Alor_Tesis_Titulo%20Profesional_2019.pdf
- Bercom. (2016). *Varillas de cobre*. Retrieved from <https://bercomgroup.com/producto/varilla-de-cobre/>
- Birth. (2015). *Diseño y dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. Retrieved from https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF06/es_IEA_ISF06_Contenidos/website_11_diseo_y_dimensionado_de_sistemas_fotovoltaicos_autnomos.html
- Bluesun. (2016). *Método común de conexión a tierra para la protección contra rayos fotovoltaicos*. Retrieved from <https://es.bluesunpv.com/blog/>

common-method-of-grounding-for-photovoltaic-lightning-
protection_b42

- Cimax. (2016). *Instalación fotovoltaica*. Retrieved from <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/825/2/Eduardo%20%C3%A1valos%20de%20le%C3%B3n%20MER.pdf>
- EEGSA. (2017). *Equipos Eléctricos García*. Retrieved from <https://eegsa.com.mx/producto/centro-de-carga-monofasico>
- FCM. (2015). *SCHNEIDER - IC60N*. Retrieved from <https://www.fcmsolutionsperu.com/collections/ic60n>
- Foro Electricidad. (2016). *Regadera eléctrica Lorenzetti*. Retrieved from <http://foroelectricidad.com/viewtopic.php?t=9682>
- INECAL. (2018). *Base Socket para Medidores*. Retrieved from <http://electricidad.ec/base-socket-para-medidores/>
- Menecaxa. (2018). *Centros de carga y Tableros de Distribución - Schneider electric*. Retrieved from <https://www.menecaxa.mx/post/centros-de-carga-y-tableros-de-distribucion-schneider-electric>
- MH Educación. (2017). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*. Retrieved from <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448614488.pdf>
- NEC. (2018). *Instalaciones Eléctricas*. Retrieved from <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>

Neheyleyler Mechatronics. (2022). *Tablero eléctrico domiciliario*. Retrieved from <https://www.neheyleylermechatronics.com/electricidad/tablero-electrico-domiciliario/>

PW Education. (2017). *Corriente de Cortocircuito*. Retrieved from <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/4-operaci%C3%B3n-de-c%C3%A9lula-solar/corriente-de-cortocircuito>

Tecnosol. (2018). *Características eléctricas de los paneles solares*. Retrieved from <https://tecnosolab.com/noticias/caracteristicas-electricas-de-los-paneles-solares/>

Anexo 1 Datos generales de elementos de una ISF

De manera general, una instalación solar fotovoltaica (ISF) se ajusta a un esquema como muestra en la figura A.1. A lo largo de este capítulo detallará el funcionamiento de cada uno de estos elementos.



Figura A 6 Componentes de una instalación

La Célula Solar: Características básicas

Una célula solar se comporta como un diodo: la parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se hallan sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor

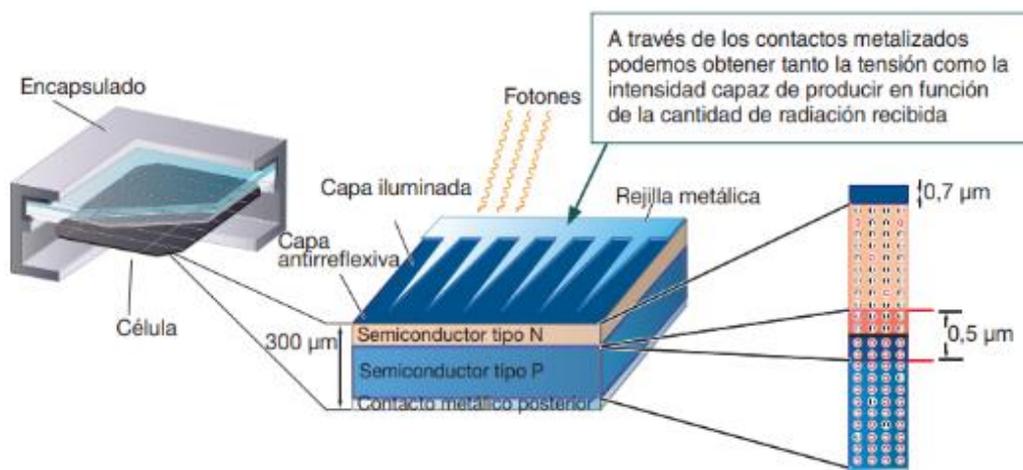


Figura A. 7 Estructura de la célula solar.

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V.), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico. En la figura A. 3 muestran las principales características de todo panel solar y puede verse un esquema típico de su construcción.

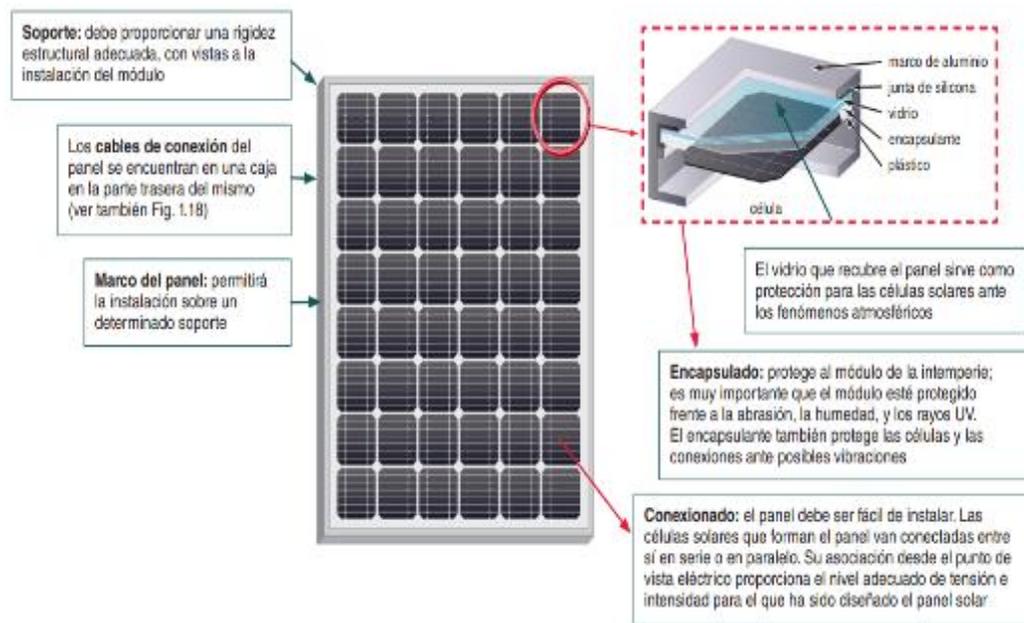


Figura A. 3 Constitución de un panel solar y sus principales características

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- Silicio amorfo.

En la tabla A.1 se puede observar las diferencias que existen entre ellos.

Tabla A. 1 Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Agrupamiento y conexión de paneles

Dependiendo de la instalación que se desarrolla y de la aplicación para la que se ha diseñado, existe la posibilidad de utilizar un solo panel o un conjunto de paneles que se montarán agrupados sobre un determinado soporte y conectados entre sí eléctricamente.

En aplicaciones de poca potencia, es posible hasta la utilización de paneles solares flexibles, que permitirán aplicaciones como alimentar un equipo de comunicaciones, recargar la batería de un teléfono, etc. Cuando se necesita una potencia elevada que no se puede obtener con un único módulo fotovoltaico, se recurre a la conexión en grupo de varios paneles solares.

En el montaje de una instalación fotovoltaica, se van a utilizar paneles solares. La potencia total que se espera consumir en la instalación es de 40 W, trabajando a 12 voltios DC. La conexión de los módulos fotovoltaicos se realiza por la parte posterior de los mismos, en una caja de conexiones preparada para tal fin. Esta caja de conexión contiene los diodos de protección (diodos de bypass), que solo dejarán pasar la corriente en un sentido, y se opondrán a la circulación de la misma en el sentido contrario.



Figura A. 4 Caja de conexiones de un módulo fotovoltaico.

Sin embargo, dicha caja tiene varias misiones, tales como:

- Impedir que las baterías de la instalación se descarguen a través de los paneles.
- Evitar que se invierta el flujo de corriente entre bloques interconectados en paralelo, cuando en alguno de ellos se produce una sombra.

- Proteger individualmente cada panel de posibles daños ocasionados por sombras parciales que se produzcan por circunstancias especiales.

El regulador

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tiene como misión, evitar situaciones de carga y sobrecarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería. Véase la figura A. 5.

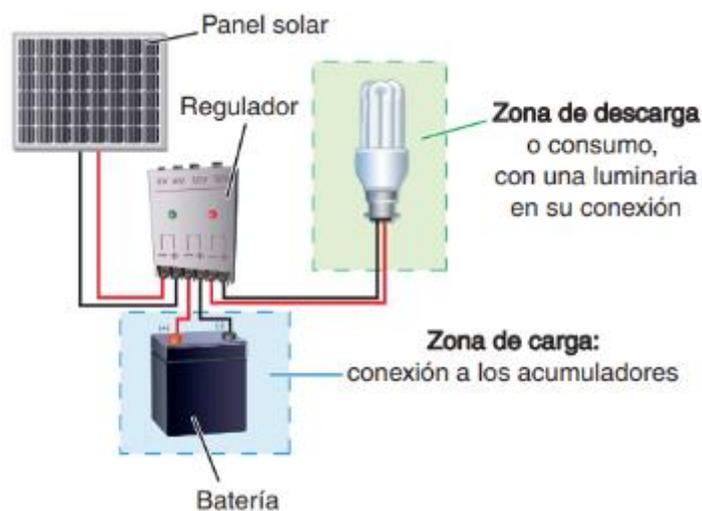


Figura A. 5 Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica.

Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas. El motivo de que esta tensión nominal de los paneles sea así, se debe fundamentalmente a dos razones:

- Atenuar posibles disminuciones de tensión por el aumento de la temperatura.
- Asegurar la carga correcta de la batería. Para ello la tensión V_{OC} del panel deberá ser mayor que la tensión nominal de la batería.

El dimensionado de la instalación solar se realiza de manera que se asegure el suministro de energía en las peores condiciones de luminosidad del sol. Por ello se toman como referencia los valores de irradiación en invierno. Esto puede provocar que en verano la energía aportada por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble de los cálculos estimados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el riesgo que ello conlleva.

En la tabla A. 2 se recogen posibles clasificaciones de los tipos de reguladores. Los fabricantes proporcionarán los valores de trabajo del regulador sobre una hoja de características. En estas hojas aparecerán:

- Características físicas del regulador: peso, dimensiones, material empleado en su construcción, etc.
- Características eléctricas.
- Normas de seguridad que cumple. También hay que considerar otro tipo de aspectos, como pueden ser medidas de seguridad, etc.

Tabla A. 2 Clasificaciones de los tipos de reguladores, según diversos conceptos.

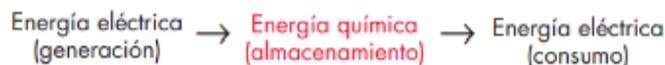
	Tipo de regulador
Según tecnología del interruptor	<ul style="list-style-type: none"> • Relé electromecánico. • Estado sólido (MOSFET, IGBT...).
Según estrategia de desconexión del consumo	<ul style="list-style-type: none"> • Por tensión. • Por algoritmos de cálculo del estado de carga. • Por otros algoritmos de gestión de la energía.
Según posición del interruptor de control de generación	<ul style="list-style-type: none"> • Serie. • Paralelo.

No obstante, el regulador debe proteger tanto la instalación como a las personas que lo manejen, por lo que deberá llevar sistemas que proporcionen las medidas de seguridad adecuadas para cada uno de los casos.

Baterías

La llegada de la energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presenta variaciones por diferentes motivos.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación fotovoltaica será el siguiente:



Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la capacidad, el cual consiste en la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando: $C = t I$.

Además de la capacidad, se debe considerar otros parámetros en los acumuladores que se va a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas, que son:

• **Eficiencia de carga:** relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible (próximo al 100 %, lo que indicaría que toda la energía utilizada para la recarga es factible de ser empleada en la salida de la instalación). Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

• **Autodescarga:** proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.

• **Profundidad de descarga:** cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del

acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil del acumulador. Si los ciclos de descargas son cortos (en torno al 20 %, por ejemplo), la duración del acumulador será mayor que si se les somete a descargas profundas (por ejemplo, del 80 %).

Además de los parámetros eléctricos, las características que serían deseables para las baterías a utilizar en las instalaciones solares son:

- Buena resistencia al ciclado (proceso de carga-descarga).
- Bajo mantenimiento.
- Buen funcionamiento con corrientes pequeñas.
- Amplia reserva de electrolito.
- Depósito para materiales desprendidos.
- Vasos transparentes.

Existen diferentes tecnologías en la fabricación de baterías, si bien unas son más adecuadas que otras para utilizarlas en las instalaciones solares.

Tipos de baterías

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la tabla A. 3 se puede ver la comparación de los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas.

Tabla A. 3 Características de los principales tipos de baterías.

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las de plomo-ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías se puede encontrar diferentes modelos. A continuación, se va a comparar y analizar cuál es el más adecuado. La tabla A. 4 muestra las diferentes modelos de baterías de plomo-ácido que se utilizan en la práctica (dependiendo de la aplicación de la instalación), con las ventajas e inconvenientes que pueden presentar.

Tabla A. 4 Baterías utilizadas en instalaciones solares.

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ciclado profundo. ▪ Tiempos de vida largos. ▪ Reserva de sedimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Precio elevado. ▪ Disponibilidad escasa en determinados lugares. 	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Precio. ▪ Disponibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. ▪ Tiempo de vida corto. ▪ Escasa reserva de electrolito. 	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fabricación similar a SLI. ▪ Amplia reserva de electrolito. ▪ Buen funcionamiento en ciclados medios. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiempos de vida medios. ▪ No recomendada para ciclados profundos y prolongados. 	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escaso mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V_L. 	

Fuente. El autor

En aquellas instalaciones en las que se tendrá descargas profundas, se elegirá baterías tubulares estacionarias, así como en las instalaciones en las que se necesite una capacidad elevada. Es el caso que se da en las instalaciones autónomas de viviendas.

Si la instalación solar es de pequeña dimensión, o de muy difícil mantenimiento, se debe elegir baterías de gel, vigilando que no se produzcan ciclos de descargas profundos. Un ejemplo puede ser una instalación solar que alimenta un pequeño repetidor en lo alto de un monte.

A la hora de elegir los acumuladores, es importante tener en cuenta el efecto de la temperatura sobre los mismos. La capacidad aumenta a medida que sube la temperatura, y al revés, disminuye cuando baja la temperatura del lugar donde se encuentra ubicado. Si se prevé la posibilidad de que existan temperaturas por debajo de 0 °C en el lugar de la instalación, se deberá elegir un acumulador de capacidad mayor que la calculada en el dimensionado de la instalación, con el fin de que no haya problemas en su funcionamiento.

La construcción del acumulador se realiza conectando vasos individuales hasta obtener las condiciones de tensión y capacidad requeridas en la instalación que se está realizando, en el caso de la utilización de baterías tubulares estacionarias. En las baterías monoblock, se debe elegir aquella que sea acorde

con la tensión de trabajo de la instalación y la potencia que se va a consumir en la misma.

El inversor

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica: 220 V de valor eficaz y una frecuencia de 60 Hz. Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de las instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas.

Un esquema de este tipo de instalaciones se puede apreciar en la figura A. 6.

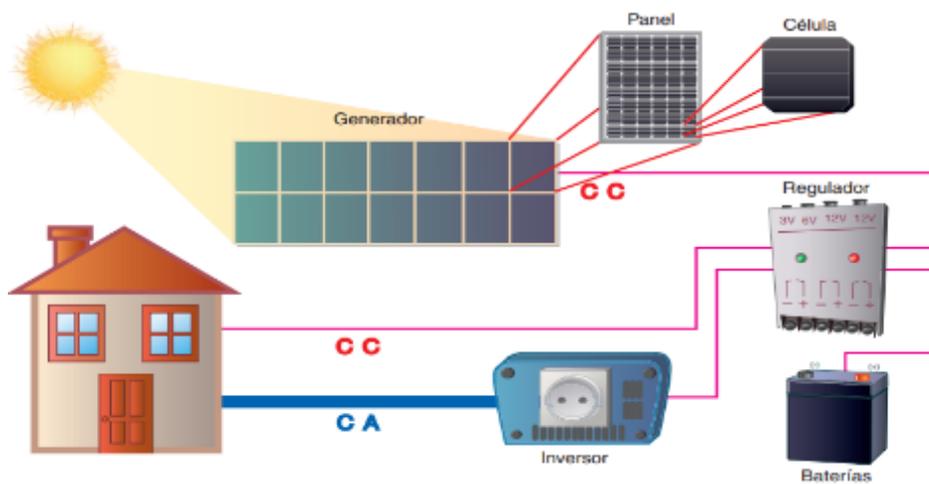


Figura A. 6 Esquema general de una instalación autónoma con inversor

En el caso de una instalación conectada a red, el esquema a seguir se puede ver en la figura A.7.

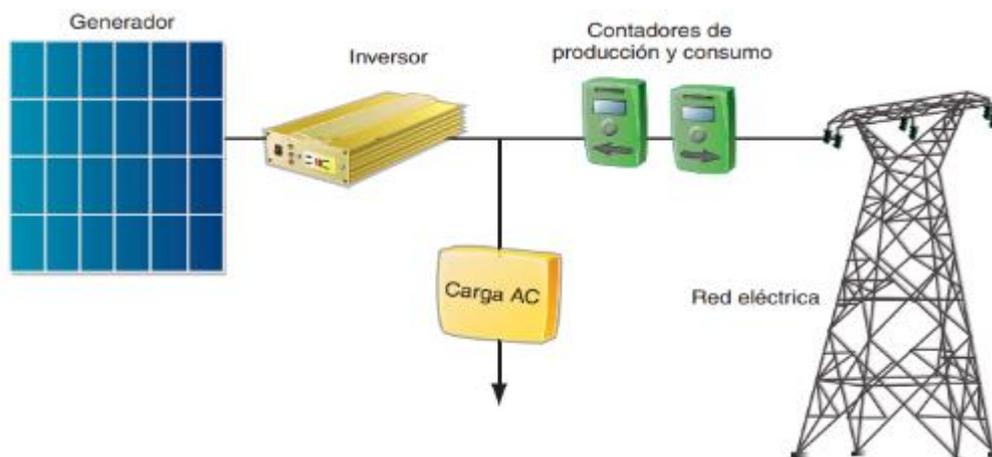


Figura A. 7 Instalación fotovoltaica conectada a la red.

Como se puede ver, la principal diferencia entre las dos instalaciones es que en las autónomas se cuenta con los acumuladores para almacenar la energía y los reguladores de carga de los mismos; mientras que, en las instalaciones conectadas a la red, la energía no se almacena, sino que se pone a disposición de los usuarios a través de la red eléctrica según se produce. En este tipo de instalaciones existen equipos de medida, tanto de la energía que se vende a la red eléctrica como del propio consumo de la instalación productora.

Sin embargo, las características deseables para un inversor DCAC se las puede resumir de la siguiente manera:

- Alta eficiencia; debe funcionar bien para un amplio rango de potencias.
- Bajo consumo en vacío; es decir, cuando no hay cargas conectadas.
- Alta fiabilidad; resistencia a los picos de arranque.
- Protección contra cortocircuitos.
- Seguridad.
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida, como ya ha mencionado antes, debe ser compatible con la red eléctrica.

Algunos inversores funcionan también como reguladores de carga de las baterías. En este caso no sería necesario incluir el regulador en la instalación.

Un ejemplo de una conexión de este tipo se aprecia en la figura A.8.

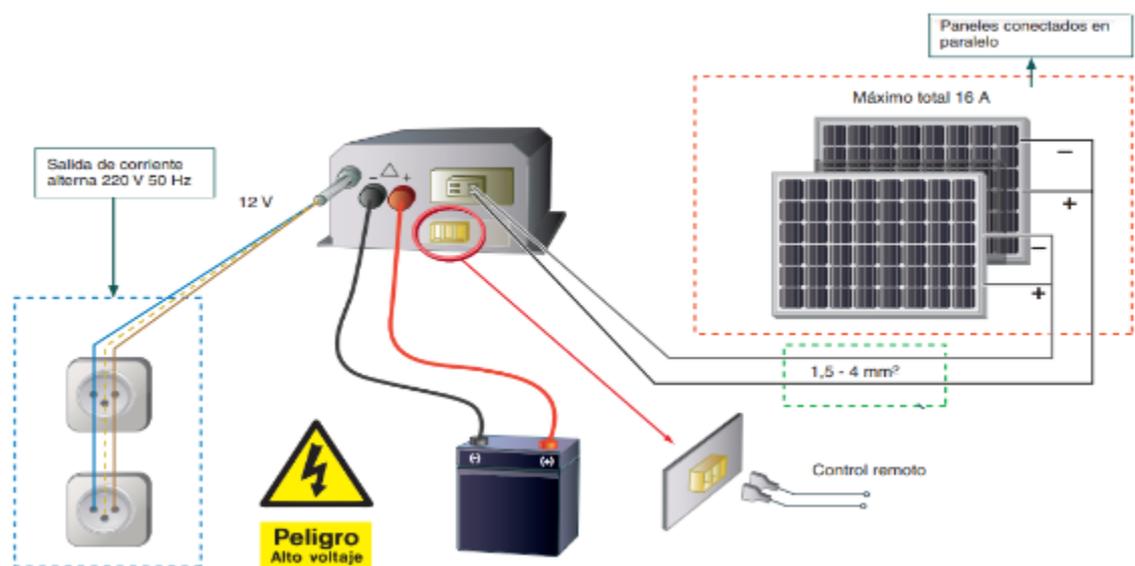


Figura A. 8 Conexión de un inversor-regular en una instalación autónoma a 12 voltios.

Se puede observar el cableado y los colores estándares utilizados en las conexiones. Así, en la parte de continua, para el polo positivo se utilizará cable de color rojo, y para el negativo, cable de color negro. En la parte de alterna, se tendrá tres conductores:

- El de color amarillo-verde para la conexión a tierra.
- El de color azul para el neutro de la instalación.
- El de color marrón para la fase.

Inversores en instalaciones conectadas a red

Como se mencionado antes, este equipo electrónico es el elemento central de una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica. Además de realizar la conversión de continua a alterna, el inversor debe sincronizar la onda eléctrica generada con la de la corriente eléctrica de la red, para que su compatibilidad sea total. El inversor dispone de funciones de protección, para garantizar tanto la calidad de la electricidad vertida a la red como la seguridad de la propia instalación y de las personas.

Los parámetros que determinan las características y prestaciones de un inversor son los siguientes:

- ❖ **Potencia:** determina la potencia máxima que se suministra a la red eléctrica en condiciones óptimas. La gama de potencias en el mercado es enorme; pues, para los sistemas domésticos existen desde 50 W (mini-inversor situado en cada placa) o 400 W (para pequeños campos fotovoltaicos) hasta potencias de varios kilovatios. Muchos modelos están pensados para poderlos conectar en paralelo, a fin de permitir el crecimiento de la potencia total de la instalación.
- ❖ **Fases:** normalmente, los inversores cuya potencia es inferior a 5 kW son monofásicos. Los mayores de 15 kW suelen ser trifásicos. Muchos modelos monofásicos pueden acoplarse entre sí para generar corriente trifásica.
- ❖ **Rendimiento energético:** debe ser alto en toda la gama de potencias a las que se va trabajar. Los modelos actualmente en el mercado tienen un rendimiento medio situado en torno al 90 %. El rendimiento del inversor es mayor cuanto más próximos se está a su potencia

nominal y, con el fin de optimizar el balance energético, es primordial hacer coincidir la potencia pico del campo fotovoltaico y la potencia nominal del inversor. Si se desea tener un funcionamiento óptimo de la instalación, la potencia de pico del campo fotovoltaico nunca debe ser menor que la potencia nominal del inversor.

❖ **Protecciones:** el inversor debe incorporar algunas protecciones generales, que, como mínimo, son las siguientes:

- Interruptor automático: dispositivo de corte automático, sobre el cual actúan los relés de mínima y máxima tensión que controlan la fase de la red de distribución sobre la que está conectado el inversor. El rearme del sistema de conmutación y, por tanto, de la conexión con la red de baja tensión de la instalación fotovoltaica, es también automático una vez restablecido el servicio normal en la red.
- Funcionamiento «en isla»: el inversor debe contar con un dispositivo para evitar la posibilidad de funcionamiento cuando ha fallado el suministro eléctrico o su tensión ha descendido por debajo de un determinado umbral.
- Limitador de la tensión máxima y mínima.
- Limitador de la frecuencia máxima y mínima. El margen indicado es del 2%.
- Protección contra contactos directos.
- Protección contra sobrecarga.
- Protección contra cortocircuito.
- Bajos niveles de emisión e inmunidad de armónicos.

Es deseable que el estado de funcionamiento del inversor quede reflejado en indicadores luminosos o en una pantalla (funcionamiento anómalo o averías, detención de producción por avería en la red, etc.). También es conveniente que el inversor ofrezca la posibilidad de ser monitorizado desde un ordenador. Si en la instalación se incluyen determinados sensores, puede aportar datos de radiación, generación solar, energía transformada a corriente alterna, eficiencia, entre otros.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Acosta Torres, Byron José** con C.C: 0918194837 autor del Trabajo de Titulación: **Estudio y diseño de instalación fotovoltaica residencial para aula comunal del proyecto comunitario UCSG "Consultorio Urbano"**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico Mecánica** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 304 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 31 de agosto de 2022

Acosta Torres, Byron José

C.C: 0918194837



REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio y diseño de instalación fotovoltaica residencial para aula comunal del proyecto comunitario UCSG "Consultorio Urbano"		
AUTOR(ES)	Acosta Torres, Byron José		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Philco Asqui, Luis Orlando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	31 agosto del 2022	No. DE PÁGINAS:	74
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energía Renovables, Consultorio Urbano, Instalaciones eléctricas		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Sistema Fotovoltaico. Panel solar, Protecciones, NEC, Instalaciones Eléctricas.		
<p>El presente trabajo académico encamina a la propuesta de un sistema fotovoltaico residencial para el aula comunal del proyecto comunitario Consultorio Urbano de la UCSG. Por consiguiente, como objetivo general se calcula y dimensiona la instalación fotovoltaica residencial con un sistema de autonomía para al menos tres días. El tipo de investigación utilizado en este trabajo es; bibliográfico por cuanto se revisa el manual de la NEC en capítulo de construcciones - instalaciones eléctricas, también es descriptiva por cuanto se busca especificar los criterios de instalación eléctrica dada por la NEC, se emplea el método analítico para determinar componentes y características de operación como conductores y protecciones eléctricas. Como resultado esperado se propone un diseño de sistema fotovoltaico básico con banco de batería que pueda iluminar de forma autónoma el aula con la intensidad adecuada. Se determina sus protecciones respectivas, esta propuesta puede implementarse a corto plazo en el proyecto UCSG, Consultorio Urbano.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 967909128	E-mail: byron.acosta@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Ing. Efraín Vélez Tacuri		
	Teléfono: +593-994084215		
	E-mail: efrain.velez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			