

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICEOS DE EDUCACIÓN MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL

SERIE 1. ORIENTACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA FOTOVOLTAICO



TOMO III. GUÍA DE APOYO PARA ESTUDIANTES: PROGRAMA EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICEOS EMTP



Ministerio de Energía de Chile

División de Energías Sostenibles

Av. Libertador Bernardo O´Higgins N° 1449

Edificio Santiago Downtown II, piso 13, Santiago, Chile

e-mail: contactoweb@minenergia.cl

www.energia.gob.cl

Material elaborado por el Ministerio de Energía con
la colaboración de la Corporación de Desarrollo
Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción

APOYADO POR

MINISTERIO DE EDUCACIÓN DE CHILE

Secretaría Ejecutiva de Educación Media Técnico-
Profesional
Unidad de Currículum y Evaluación Técnico-Profesional
Av. Bernardo O´Higgins N° 1371
Santiago, Chile
www.mineduc.cl

SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLE

Unidad de Energías Renovables y Electromovilidad
Av. Libertador Bernardo O´Higgins N° 1465
Edificio Santiago Downtown I, piso 13
Santiago, Chile
www.sec.cl

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FUR INTERNATIONALE ZU- SAMMENARBEIT (GIZ) GMBH

Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética
en Chile
Marchant Pereira N° 150, piso 12 oficina 1203
Santiago, Chile
www.giz.de

COMITÉ TÉCNICO

MINISTERIO ENERGÍA

Sebastián Arroyo Klein
María Soledad Barrios Aguiló
Danilo Jara Aguilera
Daniel Menares Schaub
Iván Villagra Bravo

MINISTERIO DE EDUCACIÓN

Hernán Ahumada Hernández
Virginia Astorga Zanzi
Felicia Lucero Díaz
Pamela Márquez Pauchard
Manuel Morales Pezoa

SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLE

Julio Clavijo Cuadra
Javier Hernández Venegas
Francisco Rodríguez Álvarez

CORPORACIÓN DESARROLLO TECNOLÓGICO

Boris Manzano Contreras
Paola Yáñez Quiroga

DISEÑO

Paola Femenías Ravanal

ISBN

© 2019. Inscripción N°
Propiedad Intelectual

del Registro de

FORMANDO TÉCNICOS PARA UNA ENERGÍA MÁS CIUDADANA

Se observa un crecimiento acelerado en las instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo en nuestro territorio. En diciembre de 2018 alcanzamos 4.400 instalaciones, equivalente a 24,4 MW, 84% de las cuales son para uso residencial. Sin embargo, el mercado fotovoltaico nacional para pequeños proyectos aún está en desarrollo, y si bien hay empresas especializadas, la industria señala que aún faltan técnicos electricistas con competencias, conocimientos y experiencia en materias de instalación, operación y mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos y sus aspectos regulatorios.

En respuesta a los cambios normativos y tecnológicos, el Programa de capacitación en energía solar fotovoltaica para liceos de educación media técnico profesional con especialidad de electricidad busca aumentar el número de técnicos electricistas nivel medio especializados en la implementación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos instalados bajo el esquema de la Ley de Generación Distribuida, conocido también como sistema de net-billing.

El Programa ha desarrollado una propuesta de fortalecimiento del currículum, incorporando la temática fotovoltaica en el Programa de estudio de la especialidad de electricidad, la capacitación para docentes de cada liceo en materias relativas a la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos y sus aspectos regulatorios, la que fue inscrita en el CPEIP, así como la implementación de un laboratorio fotovoltaico, y material docente y didáctico para el trabajo de aprendizaje en aula.

Este programa, impulsado y financiado por el Ministerio de Energía, cuenta con el apoyo técnico de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles y del Ministerio de Educación, está en línea al trabajo que se ha desarrollado en conjunto para incorporar la temática energética en el currículum escolar, y es un verdadero ejemplo de innovación para el fortalecimiento de la educación media técnico profesional.

La Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) mantiene un registro oficial de instaladores eléctricos, dada la importancia para la ciudadanía de contar con personal técnico calificado que pueda responder respecto de la calidad y seguridad del trabajo realizado, evitando los peligros para las personas y sus cosas. A través de esta iniciativa los liceos recibirán orientaciones para que tramiten ante la SEC, la aprobación de sus Planes y Programas de Estudios de la especialidad con el fin que sus titulados de técnico de nivel medio en electricidad, puedan obtener la Licencia de Instalador Eléctrico clase D.

El Ministerio de Educación, por su parte, ha avanzado en la actualización de la formación de los estudiantes de los establecimientos técnico-profesionales de todo Chile, a través de nuevos planes, programas de estudio y Bases Curriculares, disponibles desde el 2016. Ello ha permitido alinear y responder a los requerimientos más recientes del desarrollo productivo y social.

A través de esta iniciativa, se busca fortalecer la vinculación con el entorno productivo, y social, como con la transición a la educación superior y el mundo del trabajo, fomentando el desarrollo de alianzas público-privada para mejorar la empleabilidad efectiva de los jóvenes egresados de los liceos técnicos con especialidad de electricidad.

Se invita a que los establecimientos educacionales que implementen este programa se conecten entre sí, generen redes de cooperación y compartan sus mejores prácticas. El sector energía es un sector económico estratégico y sus empleos demandan mayor especialización técnica y formación académica. Se espera que a través de este programa los estudiantes se especialicen en nuevas tecnologías y su normativa nacional y así se preparen de mejor manera para el mundo del trabajo.

ÍNDICE

	Introducción	13
	¿Cómo usar el compendio?	14
	Presentación y generalidades	17
	Estructura y referencia gráfica de la guía de apoyo	19
1.	CAPÍTULO 1. MÓDULO N°2: INSTALACIONES ELÉCTRICAS DOMICILIARIAS	24
1.1.	Contexto y normativa nacional	25
1.2.	Características del recurso solar y efecto fotovoltaico	31
1.2.1.	Características del recurso solar	31
1.2.2.	Irradiancia y radiación	32
1.2.3.	Efecto fotovoltaico	37
1.2.4.	Tipos de celdas solares	38
1.2.5.	Propiedades eléctricas de las celdas solares	39
1.2.6.	Curva característica de tensión -corriente de una célula fotovoltaica y sus puntos esenciales	40
1.3.	Efecto térmico	44
1.3.1.	Definición efecto térmico	44
1.3.2.	¿Cómo afecta la temperatura a la eficiencia de una celda fotovoltaica?	46
1.4.	Módulos fotovoltaicos	49
1.4.1.	Unión de celdas	49
1.4.2.	Arreglo fotovoltaico	56
1.5.	Efectos de las sombras e inclinación de los módulos fotovoltaicos	60
1.5.1.	Efectos del sombreado de celdas	60
1.5.2.	Orientación e Inclinación de los módulos fotovoltaicos	64

1.6.	Componentes de los sistemas fotovoltaicos	70
1.6.1.	Inversores	70
1.6.2.	Inversores para sistemas independientes de la red (Off Grid)	71
1.6.3.	Inversores para conexión a red (On Grid)	71
1.6.4.	Baterías	75
1.6.5.	Controladores de carga	79
1.6.6.	Fusibles, diodos de bypass y diodos de bloqueo	80
1.6.7.	Protecciones Corriente Continua (CC) y Corriente Alterna (CA)	89
1.7.	Cableado y conexión de los sistemas fotovoltaicos	91
1.7.1.	Sistemas fotovoltaicos aislados (Off Grid)	91
1.7.2.	Factores importantes al utilizar un sistema fotovoltaico aislado	93
1.7.3.	Sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica domiciliaria (On Grid)	106
2.	CAPÍTULO 2. MÓDULO N°3: ELABORACIÓN DE PROYECTOS ELÉCTRICOS	113
2.1.	Plano eléctrico fotovoltaico	113
2.1.1.	Interpretación de los planos y esquema de una instalación fotovoltaica	114
2.1.2.	Ejemplos de planimetría para un sistema fotovoltaico residencial	124
2.1.3.	Cubicación de materiales	127
2.2.	Plano estructura de montaje y anclaje	128
2.2.1.	Características de la estructura de montajes	128
2.2.2.	Tipos de estructuras de soporte	129
3.	CAPÍTULO 3. MÓDULO N°4: MANTENIMIENTO DE MAQUINAS, EQUIPOS Y SISTEMAS ELÉCTRICOS	134
3.1.	Mantenimiento Para Los Sistemas Fotovoltaicos	136
3.1.1.	Evaluación del sistema fotovoltaico	136
3.1.2.	Aspectos de seguridad	137
3.2.	Acción preventiva y correctiva	142
3.2.1.	Paneles	142
3.2.2.	Inversores	143
3.2.3.	Reguladores de Carga	144
3.2.4.	Baterías	145
4.	CAPÍTULO 4. MÓDULO N°7: INSTALACIÓN DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA	149
4.1.	Propuesta de planificación de proyecto de instalación On Grid sobre techo	149
5.	CAPÍTULO 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
6.	CAPÍTULO 6. GLOSARIO	152
7.	CAPÍTULO 7. ANEXOS	155
7.1.	Anexo 1. Maletín de fundamento fotovoltaico - Componentes	155
7.2.	Anexo 2. Primer Banco de entrenamiento (Piloto) - Componentes	156

INDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Sugerencia de utilización del Compendio.....	16
Ilustración 2.	Iconos que identifican el tipo de actividad.....	20
Ilustración 3.	Iconos según elementos del laboratorio didáctico fotovoltaico.....	20
Ilustración 4.	Icono para recursos de apoyo complementario.....	21
Ilustración 5.	Ejemplo de un sistema solar fotovoltaico, instalado en un estacionamiento.....	27
Ilustración 6.	Ejemplo de un sistema solar fotovoltaico, instalado en un satélite.....	27
Ilustración 7.	Ejemplo de un sistema domiciliario fotovoltaico, instalado bajo la Ley de Generación Distribuida (Ley N°20.571).....	29
Ilustración 8.	Componentes de la radiación solar en la Tierra.....	33
Ilustración 9.	Radiación global horizontal, resumen hora.....	33
Ilustración 10.	Radiación Global Horizontal de distintas ciudades de Chile.....	34
Ilustración 11.	Mapa de Radiación Global Horizontal de Chile.....	34
Ilustración 12.	Esquema de conexiones.....	36
Ilustración 13.	Célula solar.....	37
Ilustración 14.	Detalle de celda monocristalina.....	38
Ilustración 15.	Detalle de celda policristalina.....	38
Ilustración 16.	Celda amorfa.....	38
Ilustración 17.	Celda de tecnología de capa fina.....	39
Ilustración 18.	Composición química de una celda fotovoltaica.....	39
Ilustración 19.	Curva I-V, curva P-V.....	41
Ilustración 20.	Esquema de estructura y conexiones.....	43
Ilustración 21.	Esquema de Transmisión de Calor.....	45
Ilustración 22.	Tazas de distintas materialidades.....	46
Ilustración 23.	Conexión de celdas en serie de un módulo fotovoltaico.....	50
Ilustración 24.	Esquema de conexión de celdas solares en serie.....	50
Ilustración 25.	Esquema de conexión de celdas en paralelo.....	51
Ilustración 26.	Esquema de conexión en serie de células solares/sombreado.....	54
Ilustración 27.	Esquema de relaciones entre celdas, panel solar y arreglo fotovoltaico.....	57
Ilustración 28.	Ejemplo de arreglo fotovoltaico de 4 módulos.....	59
Ilustración 29.	Gráficos de Corriente y Potencia sobre Voltaje.....	60
Ilustración 30.	Módulo conectados en serie y en paralelo al inversor.....	61
Ilustración 31.	Esquema de estructura y conexiones.....	62
Ilustración 32.	Esquemas de ángulo acimut.....	64
Ilustración 33.	Esquemas de ángulo de inclinación.....	65

Ilustración 34.	Esquemas de ángulos de acimut y elevación	67
Ilustración 35.	Ángulo de incidencia de la luz en la célula solar	68
Ilustración 36.	Esquema de estructura y conexiones efecto orientación	68
Ilustración 37.	Tipos de onda de voltaje que producen los inversores	70
Ilustración 38.	Fotografías de junction box	72
Ilustración 39.	Configuración de inversor central	73
Ilustración 40.	Configuración de inversor string	73
Ilustración 41.	Configuración de 4 microinversores conectados en paralelo	74
Ilustración 42.	Baterías y sus componentes	75
Ilustración 43.	Gráfico de ciclos de carga de baterías	76
Ilustración 44.	Esquema de batería plomo ácido	77
Ilustración 45.	Esquema de conexión de baterías en serie y en paralelo	78
Ilustración 46.	Fusible entre batería e inversor	81
Ilustración 47.	Características de los fusibles en Corriente Continua	84
Ilustración 48.	Esquema de ubicación de diodos	86
Ilustración 49.	Esquema de Junction box que contiene los diodos y se encuentra detrás de los paneles	86
Ilustración 50.	Esquema de estructura y conexiones diodos	87
Ilustración 51.	Interruptor CA	90
Ilustración 52.	Interruptor Diferencial CA	90
Ilustración 53.	Sistema Fotovoltaico Aislado Simplificado	92
Ilustración 54.	Esquemas de conexiones string y paralelo	96
Ilustración 55.	Esquema de conexiones por protección CC	97
Ilustración 56.	Esquema de conexiones al controlador de carga	98
Ilustración 57.	Esquema de conexiones	98
Ilustración 58.	Esquema de conexiones generador	101
Ilustración 59.	Esquema de conexiones protecciones CC	102
Ilustración 60.	Esquemas de conexiones controlador de carga	103
Ilustración 61.	Esquema de conexiones de baterías	103
Ilustración 62.	Esquemas de conexiones baterías sistema Off Grid	104
Ilustración 63.	Esquemas de conexiones CA-Inversor	105
Ilustración 64.	Sistema fotovoltaico conectado a la red simplificada (On Grid)	106
Ilustración 65.	Esquemas de conexiones Microinversor - Sistema On Grid	110
Ilustración 66.	Esquema de conexiones Microinversor CA	110
Ilustración 67.	Esquema de conexiones carga CA a protecciones CA	111
Ilustración 68.	Esquema de conexiones Microinversor a la red	111
Ilustración 69.	Esquema de conexiones sistema On Grid y Microinversor	112
Ilustración 70.	Diferencia de follaje entre coníferas y latifoliadas	114
Ilustración 71.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	115
Ilustración 72.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	116

Ilustración 73.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	117
Ilustración 74.	Cuadro de generación de proyecto fotovoltaico	117
Ilustración 75.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	118
Ilustración 76.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	118
Ilustración 77.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	119
Ilustración 78.	Cuadro de caídas de tensión	119
Ilustración 79.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	120
Ilustración 80.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	120
Ilustración 81.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	121
Ilustración 82.	Cuadro y planimetría de proyecto fotovoltaico	121
Ilustración 83.	Datos técnicos del proyecto fotovoltaico	122
Ilustración 84.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	123
Ilustración 85.	Planimetría de proyecto fotovoltaico	123
Ilustración 86.	Ejemplo de plano eléctrico del Proyecto Solar Fotovoltaico	124
Ilustración 87.	Ejemplo de plano eléctrico de un sistema solar fotovoltaico con Micro inversor	125
Ilustración 88.	Ejemplo de protecciones y diferenciales	126
Ilustración 89.	Distintos tipos de estructuras de soporte	129
Ilustración 90.	Anclaje de estructuras al techo	130
Ilustración 91.	Vista elevación estructura	130
Ilustración 92.	Detalle de fijaciones o grapas intermedias y finales de la estructura	131
Ilustración 93.	Detalle del pórtico	131
Ilustración 94.	Detalle de pernería de fijación de paneles	131
Ilustración 95.	Detalle de barras transversales para soportes de paneles	132
Ilustración 96.	Ejemplo de fijación a cubierta	132
Ilustración 97.	Sistema solar tracker	133
Ilustración 98.	Comportamiento en las Plantas	135
Ilustración 99.	Comportamiento en la Celda fotovoltaica	135
Ilustración 100.	Uso correcto de arnés, anclaje y cuerdas de vida	140
Ilustración 101.	Limpieza de los paneles solares fotovoltaicos	143

INDICE ACTIVIDADES

Actividad 1.	Árbol y Panel fotovoltaico, similitudes y diferencias.....	25
Actividad 2.	Ventajas y desventajas del uso de paneles solares.....	30
Actividad 3.	Reflexión: La luz y la irradiancia.....	35
Actividad 4.	La irradiancia.....	36
Actividad 5.	Los fotones y el efecto fotovoltaico.....	37
Actividad 6.	Comparación de las eficiencias (rendimiento) de las celdas fotovoltaicas monocristalinas, policristalinas y capa fina.....	42
Actividad 7.	Análisis de la tensión de circuito abierto y corriente de corto circuito de una celda fotovoltaica a distintas intensidades de radiación.....	43
Actividad 8.	Reflexión: Transmisión de calor y su aplicación en la vida diaria.....	46
Actividad 9.	Efecto térmico sobre una celda fotovoltaica.....	48
Actividad 10.	Analizar el efecto de la temperatura sobre las celdas solares.....	49
Actividad 11.	Armar módulos mediante la conexión de celdas solares y determinar el área requerida.....	52
Actividad 12.	Analizar el efecto de la conexión en serie y paralelo en el voltaje y la corriente de las celdas solares.....	54
Actividad 13.	Efecto de las sombras sobre las celdas solares.....	62
Actividad 14.	Efecto de las sombras sobre las celdas solares, ejercicio práctico.....	62
Actividad 15.	Analizar el efecto de la orientación y la inclinación sobre las celdas fotovoltaicas.....	67
Actividad 16.	Análisis del efecto de la orientación sobre las celdas fotovoltaicas a partir de las mediciones realizadas con el maletín de fundamento.....	68
Actividad 17.	Tipos de inversores y su uso.....	75
Actividad 18.	Tipos de conexionado en un banco de baterías.....	79
Actividad 19.	Cuidado del banco de baterías.....	80
Actividad 20.	Utilidad de los diodos de bypass.....	87
Actividad 21.	Efectividad de los diodos en paneles con celdas bajo sombra.....	87
Actividad 22.	Instalación Sistema Fotovoltaico Aislado con banco de baterías en sistema corriente continua.....	94
Actividad 23.	Funcionamiento de un sistema fotovoltaico aislado (Off Grid) sin inversor.....	94
Actividad 24.	Instalación fotovoltaica aislada (Off Grid) con banco de baterías en sistema de corriente alterna (con inversor).....	99
Actividad 25.	Efecto del regulador de carga en un sistema FV Off Grid con inversor.....	99
Actividad 26.	Instalación fotovoltaica conectada a la red (On Grid).....	108
Actividad 27.	Instalación fotovoltaica conectada a la red (On Grid).....	108

Actividad 28.	Comparación dos tipos de árboles y su relación con el aprovechamiento de la energía lumínica.....	114
Actividad 29.	Interpretación de plano eléctrico de un proyecto fotovoltaico On Grid y uno Off Grid, utilizando el programa CAD.....	127
Actividad 30.	Dibujo de un proyecto eléctrico fotovoltaico.....	128
Actividad 31.	Cubicación de una instalación fotovoltaica.....	132
Actividad 32.	Cubique y dibuje un proyecto, según el tipo de techo.....	133
Actividad 33.	Estructuras de montajes que incorporan seguimiento al trayecto del sol.....	133
Actividad 34.	Similitudes y diferencias entre una planta y un panel fotovoltaico.....	136
Actividad 35.	Reflexión: importancia de la seguridad y la protección personal en el trabajo.....	141
Actividad 36.	Diseño de una pauta de cotejo de evaluación.....	142
Actividad 37.	Reflexión con estudiantes: Reciclaje de paneles fotovoltaicos.....	146
Actividad 38.	Limpieza y mantenimiento de paneles fotovoltaicos.....	147
Actividad 39.	Detección de fallas en el sistema fotovoltaico.....	147
Actividad 40.	Limpieza de paneles y recambio de componentes dañados, realizando trabajo en altura.....	148
Actividad 41.	Proyecto de instalación de un sistema fotovoltaico On Grid, sobre techo inclinado.....	150

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Pauta de inspección para componentes de un sistema fotovoltaico.....	138
----------	--	-----

INTRODUCCIÓN



El compendio del **“Programa de Capacitación en Energía Solar Fotovoltaica para Liceos de Educación Media Técnico Profesional”**, se fundamenta en un proceso de varias etapas desarrolladas durante el año 2018. Este responde a una iniciativa del Ministerio de Energía desarrollada con el apoyo técnico del Ministerio de Educación (MINEDUC) y de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). El programa de capacitación contó con el apoyo y financiamiento del **“Proyecto Promoción y Desarrollo Tecnológico Solar en Chile”** del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), administrado por el Banco Interamericano de Desarrollo (IDB) y ejecutado por el Ministerio de Energía; así como, del **“Proyecto NAMA¹: Energías renovables para autoconsumo”**, implementada por el Ministerio de Energía y la GIZ, financiada por la NAMA Facility.

El objetivo del programa de capacitación, es incrementar el número de técnicos electricistas en Chile especializados en la implementación y mantención de sistemas solares fotovoltaicos instalados bajo el esquema de la Ley de generación distribuida, Ley de generación ciudadana o Ley de “net - billing”. Esta normativa otorga a los ciudadanos el derecho a generar su propia energía eléctrica para autoabastecerse y, además inyectar a la red de distribución los excedentes en horas en que la energía solar no sea consumida en el domicilio.

Como un primer esfuerzo y experiencia piloto, se implementó esta iniciativa en 20 liceos de dependencia municipal con la especialidad de electricidad, ubicados en regiones con alta radiación solar (Arica y Parinacota hasta Biobío).

Resultado de esta experiencia, se pone a disposición de los **Liceos de Enseñanza Media Técnica Profesional (LEMTP)** del país, el compendio conformado por distintas series y tomos, que permitirán a los Directores, Jefes de Unidad Técnica Profesional (UTP), Jefe de Especialidad y Profesores, fortalecer e implementar un programa de capacitación fotovoltaica en su establecimiento.

¹ Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada. NAMA por sus siglas en inglés (Nationally Appropriate Mitigation Action).

El compendio está conformado por un total de diez tomos, que abordan un tema en sí mismo por lo que pueden ser consultados de manera independiente; sin embargo, se agrupan en cuatro series temáticas, según el ámbito de acción y actores relacionados al logro del objetivo.

Cada tomo contiene; por una parte, consideraciones generales que orienta a la toma de decisiones y por otra parte, presenta ejemplos desarrollados durante el programa piloto de manera que puedan servir de referencia base al momento de consultarlos.

Es importante recalcar que este compendio constituye una propuesta acotada, que buscan ser la base para que cada establecimiento pueda abrir un abanico de posibilidades de manera que permita incorporar el programa, de acuerdo a las características del entorno educativo de su establecimiento (nivel de vulnerabilidad, ubicación geográfica, infraestructura, etc.)

¿CÓMO USAR EL COMPENDIO?

El compendio está concebido para ser consultado de diversas maneras, abordando la temática solar fotovoltaica desde diferentes ámbitos que buscan fortalecer a los Liceos de Enseñanza Media Técnica Profesional con especialidad en electricidad. Los tomos pueden ser revisados de manera independiente. Sin embargo, los contenidos de las series se encuentran vinculados entre sí, según ámbito de acción y actores relacionados. Finalmente, el compendio en su totalidad, permite al lector aumentar su conocimiento sobre sistemas solares fotovoltaicos, estrategias de implementación y pasos a seguir para la toma de decisiones considerando una visión a corto, mediano y largo plazo.

A continuación, se presenta una pauta rápida de consulta de los tomos.

SERIE 1. ORIENTACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA FOTOVOLTAICO

TOMO I	FORTALECIMIENTO DEL PROGRAMA DE ESTUDIO ESPECIALIDAD DE ELECTRICIDAD Y PLANIFICACIÓN DE AULA EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	TOMADOR DE DECISIONES CURRICULARES: JEFE DE UTP Y/O JEFE DE ESPECIALIDAD
TOMO II	GUÍA DE APOYO PARA DOCENTES: PROGRAMA EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICEOS EMTF	JEFE ESPECIALIDAD DOCENTE
TOMO III	GUÍA DE APOYO PARA ESTUDIANTES: PROGRAMA EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICEOS EMTF	ESTUDIANTE DOCENTE

SERIE 2. DEFINICIÓN DEL EQUIPAMIENTO PARA HABILITAR UN LABORATORIO FOTOVOLTAICO

TOMO IV	ELEMENTOS PARA HABILITAR UN LABORATORIO FOTOVOLTAICO	SOSTENEDOR DIRECTOR SLE DIRECTOR LICEO JEFE DE UTP JEFE DE ESPECIALIDAD DOCENTE
TOMO V	MALETÍN FUNDAMENTOS FOTOVOLTAICOS	
TOMO VI	BANCO DE ENTRENAMIENTO COMPONENTES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON GRID Y OFF GRID	
TOMO VII	TECHUMBRE PRÁCTICA PARA MONTAJE DE PANELES FOTOVOLTAICOS	

SERIE 3. PERFECCIONAMIENTO DOCENTE PARA EL PROGRAMA FOTOVOLTAICO

TOMO VIII	GUIA DE APOYO PARA EJECUTAR LA ACCIÓN FORMATIVA CPEIP "PERFECCIONAMIENTO DOCENTE EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA ENSEÑANZA MEDIA TÉCNICO PROFESIONAL"	OTEC JEFE DE UTP JEFE DE ESPECIALIDAD DOCENTE
TOMO IX	MATERIAL DE APOYO DE LA ACCIÓN FORMATIVA CPEIP	

SERIE 4. PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LICENCIA DE INSTALADOR ELÉCTRICO CLASE D DE LA SEC

TOMO X	GUIA DE APOYO PARA LA APROBACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS DEL LICEO EMTP ANTE LA SEC	SOSTENEDOR DIRECTOR LICEO JEFE DE ESPECIALIDAD
INFOGRAFÍA	APROBACIÓN PROGRAMA ELECTRICIDAD ANTE LA SEC	GENERAL

ILUSTRACIÓN 1: SUGERENCIA DE UTILIZACIÓN DEL COMPENDIO

PRESENTACIÓN Y GENERALIDADES



Estimado estudiante, ponemos a tu disposición y de tu Liceo diferentes elementos formativos que han sido desarrollados para prepararte a enfrentar y dar una respuesta formativa al quehacer en la temática fotovoltaica. Tendrás acceso a: (i) La guía de apoyo para estudiantes y (ii) el laboratorio didáctico fotovoltaico.

Es importante mencionar que ambos elementos fortalecerán tus competencias en los siguientes módulos de la especialidad de electricidad en los curso de 3° medio:

Módulo 2. “Instalaciones eléctricas domiciliarias”, comprende sustento teórico, actividades de aprendizaje y criterios de evaluación, relacionados a la Instalación de paneles de generación fotovoltaica para instalación eléctrica domiciliaria. Al finalizar el módulo, conocerás los fundamentos y serás capaz de instalar sistemas de generación de energía fotovoltaica para instalación eléctrica domiciliaria, de acuerdo a las especificaciones técnicas del plano y/o proyecto eléctrico, considerando la normativa vigente.

Módulo 3 “Elaboración de proyectos eléctricos”, comprende sustento teórico, actividades de aprendizaje y criterios de evaluación, relacionado a Dibujo de instalaciones eléctricas que contemplan sistemas solares fotovoltaicos. Al finalizar el módulo, podrás dibujar el sistema eléctrico fotovoltaico y los diferentes tipos de estructuras de soporte usados, cumpliendo las indicaciones técnicas exigidas por el proyecto.

Módulo 4 “Mantenimiento de máquinas, equipos y sistemas eléctricos”, comprende sustento teórico, actividades de aprendizaje y criterios de evaluación, relacionado a mantenimiento preventivo y correctivo de equipos fotovoltaicos. Al finalizar el módulo, serás capaz de realizar mantenimiento preventivo y correctivo de equipos fotovoltaicos, de acuerdo a los informes de falla o a las pautas de mantenimiento, según normativa vigente y normas de seguridad.

En 4º medio, podrás realizar un proyecto de “Instalación eléctrica domiciliaria, con sistema solar fotovoltaico conectado a red, según Ley de Generación Ciudadana, Generación Distribuida o Net-billing” aplicando las competencias adquiridas en 3º medio y utilizando el elementos de práctica a escala real.

Guía de apoyo para estudiantes: Documento que te entregará conceptos, procedimientos y habilidades que te permitan adquirir las competencias relacionadas a la instalación y mantención de sistemas solares fotovoltaicos. Está estructurado por capítulos y cada uno contiene información complementaria de referencia, refuerza conceptos claves y presenta varias actividades de aprendizaje teóricas y prácticas en las cuales podrás utilizar los diferentes componentes del laboratorio didáctico con los que cuenta tu Liceo.

A continuación te presentamos el desarrollo del recurso educativo que te orientará en el proceso para fortalecer tus competencias en la temática solar fotovoltaica.

ESTRUCTURA Y REFERENCIA GRÁFICA DE LA GUÍA DE APOYO



La elaboración del recurso educativo, se estructura en cuatro capítulos y cada uno de ellos responde al desarrollo del aprendizaje esperado incorporado, que aborda las competencias fotovoltaicas. El docente encontrará en esta guía un marco de los conceptos fundamentales, normativas, orientaciones para la realización de las actividades y aspectos técnicos relacionados al tema Fotovoltaico, además de bibliografía que permitirá al docente profundizar los contenidos, acorde a sus necesidades, realidad del liceo y aula.

De esta manera las actividades de aprendizaje sugeridas se estructuran en los siguientes capítulos:

- **Capítulo 1.** Corresponde al módulo N°2. Instalaciones eléctricas domiciliarias.
- **Capítulo 2.** Corresponde al módulo N°3. Elaboración de proyectos eléctricos.
- **Capítulo 3.** Corresponde al módulo N°4. Mantenimiento de máquinas, equipos y sistemas eléctricos.
- **Capítulo 4.** Corresponde al módulo N° 7. Instalación de equipos electrónicos de potencia.

El capítulo 1, tiene como meta principal fortalecer los aprendizajes genéricos del perfil de egreso; además, de los objetivos de aprendizaje de la especialidad; mientras que las actividades del capítulo 2 y 3, buscan fortalecer los objetivos de aprendizaje de la especialidad, y el capítulo 4, refuerza los aprendizajes de los capítulos anteriores, dándole una visión integral del sistema fotovoltaico completo y a escala real.

Para un reconocimiento rápido y visual de las actividades, se generaron iconos para los diferentes tipos de actividades:

- **Antes de empezar la clase.** Consiste en la presentación de una introducción que sirve para captar la atención del lector del documento al describir o plantear una analogía entre el proceso de transformación de energía que realiza un árbol y el sistema solar fotovoltaico. Encontrará una sugerencia al inicio de cada capítulo.

- **Actividad de reflexión.** Invita a los estudiantes a pensar atenta y detenidamente en aspectos puntuales.
- **Actividad de aprendizaje Teórica.** Tiene la función didáctica de fortalecer competencias relacionadas a aspectos conceptuales y de fundamentos.
- **Actividades de aprendizaje práctica.** Fortalece la competencia desde la experimentación del conocimiento.



ANTES DE EMPEZAR LA CLASE



ACTIVIDAD DE REFLEXIÓN



ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE TEÓRICA



ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE PRÁCTICA

ILUSTRACIÓN 2: ICONOS QUE IDENTIFICAN EL TIPO DE ACTIVIDAD

Para las actividades prácticas los iconos se diferencian de acuerdo al elemento de laboratorio a utilizar: (i) Maletín de fundamentos fotovoltaico, (ii) Banco de entrenamiento componentes de sistemas fotovoltaicos On Grid y Off Grid y (iii) Techumbre práctica para montaje de paneles fotovoltaicos. A lo largo del documento, para una lectura más fluida, se hace referencia los componentes del laboratorio de la siguiente manera: Maletín fundamento, Banco de entrenamiento y Techumbre práctica.

MALETÍN DE FUNDAMENTOS FOTOVOLTAICOS



MALETÍN FUNDAMENTO

BANCO DE ENTRENAMIENTO PARA MONTAJE Y DESMONTAJE



BANCO DE ENTRENAMIENTO

TECHUMBRE PRÁCTICA FOTOVOLTAICA



TECHUMBRE PRÁCTICA

ILUSTRACIÓN 3: ICONOS SEGÚN ELEMENTOS DEL LABORATORIO DIDÁCTICO FOTOVOLTAICO

ANEXO:

Podrá revisar el detalle del equipamiento del laboratorio didáctico fotovoltaico.

ANEXO 1. Componentes del maletín de fundamentos fotovoltaicos.

ANEXO 2. Componentes del banco de entrenamiento componentes de sistemas fotovoltaicos On Grid y Off Grid.

Finalmente se generó un cuadro con información complementaria, que hace referencia a documentos oficiales y/o páginas web que pueden ser consultadas para afinar conceptos, procedimientos y habilidades.



**INFORMACIÓN
COMPLEMENTARIA**

ILUSTRACIÓN 4: ICONO PARA RECURSOS DE APOYO COMPLEMENTARIO

RECUERDA

Los cambios tecnológicos y la responsabilidad con respecto al origen de las fuentes de energía, impulsan a la actualización constante de las competencias y a la adaptación de las capacidades en base a lo que demanda el entorno laboral; por lo anterior, tu rol y participación es fundamental.

Te invitamos a que asumas una actitud positiva y proactiva, que te hagas responsable de tu proceso formativo, que cuides los equipos y herramientas de laboratorio fotovoltaico, que interactúes con tus compañeros y docentes y; finalmente, que la guía de apoyo se convierta un punto de inicio en tu formación en energías renovables.



DESARROLLO

GUÍA DE APOYO PARA
ESTUDIANTES

CAPÍTULO

1

Módulo N°2: Instalaciones eléctricas domiciliarias



ANTES DE EMPEZAR LA CLASE:

La vida en nuestro planeta depende de los productores primarios entre los cuales se encuentran las plantas (vegetación). Sin ellas la vida no podría existir en nuestro planeta. Las plantas utilizan la energía del sol para fabricar su alimento, crecer, desarrollarse y reproducirse (proceso de fotosíntesis). La clave de este proceso es la transformación de un tipo de energía en otro: la energía lumínica es transformada en energía química. ¿Es posible transformar la energía del sol en otros tipos de energía?

ACTIVIDAD 1
Árbol y Panel fotovoltaico, similitudes y diferencias



Completa en el siguiente cuadro comparativo las similitudes y diferencias que crees existen entre una planta y un panel fotovoltaico.

SIMILITUDES	DIFERENCIAS
<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____
<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____
<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> _____

1.1. CONTEXTO Y NORMATIVA NACIONAL

A nivel mundial se está experimentando una creciente demanda de energía, lo que ha llevado a buscar distintas alternativas de generación de ésta. Además, existen evidencias de problemas derivados del uso de combustibles fósiles, tal como el calentamiento global y la contaminación ambiental.

Una alternativa orientada a reducir este fenómeno ha sido el uso de energías renovables, como la energía solar, eólica, geotérmica, biomasa e hidráulica. La energía solar es una de las fuentes más abundantes, teniendo el potencial para reemplazar parcialmente a los combustibles fósiles.

En Chile, la matriz energética ha cambiado en los últimos años. La capacidad instalada a gran escala a fines del año 2018 alcanzó los 23.238 MW, donde el 20% corresponde a energías renovables no convencionales. De estos el 9,2% corresponde a energía solar (2.143 MW). A pequeña escala, por ejemplo sistemas domiciliarios o en negocios, se observa un crecimiento acelerado de instalaciones fotovoltaicas, a fines del 2018 se alcanzaron las 4.400 instalaciones, que equivalen a 24,4 MW de capacidad instalada.

Existen distintas iniciativas y políticas públicas tendientes a diversificar la matriz energética e incorporar de manera creciente la energía solar, especialmente generación fotovoltaica, tema en que se centra esta guía.

La energía solar puede utilizarse tanto para producir electricidad, a través de sistemas fotovoltaicos, o bien, para generar calor y producir agua caliente, a través de sistemas solares térmicos (colectores solares) para uso domiciliario o industrial. Esta Guía se centra en sistemas solares fotovoltaicos.



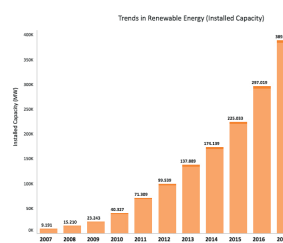
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- Para conocer las estadísticas actualizadas a nivel mundial, latinoamericano y el lugar que ocupa Chile respecto a otros países, lo invitamos a revisar la página web de la Agencia internacional de Energía Renovable (IRENA) www.irena.org solar o la agencia International de Energía (IEA) www.iea.org, con base de datos sobre energía.

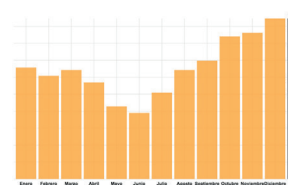
Ejemplo: Tendencia en energía renovable Solar (Capacidad Instalada en MW).

- Para conocer las estadísticas actualizadas de Chile por sector y por diferentes fuentes de energía lo invitamos a visitar la página web. Energía abierta. www.energiaabierta.cl

Ejemplo: energía solar generada mensualmente durante el año 2017 en Chile.



DESCARGADO MAYO, 2018, DE: WWW.IRENA.ORG/SOLAR



DESCARGADO MAYO, 2018, DE: [HTTP://ENERGIAABIERTA.CL/VISUALIZACIONES/GENERACION-BRUTA-ERN/](http://ENERGIAABIERTA.CL/VISUALIZACIONES/GENERACION-BRUTA-ERN/)

DATO

Existen aplicaciones de Sistemas Solares Fotovoltaicos en ámbitos diferentes al domiciliario. Ejemplo: Comercial: empresas, industria; Espacio público: mobiliario, transporte, Iluminación pública; Otros: Comunicaciones, suministro de agua, desastres naturales, etc.



ILUSTRACIÓN 5: EJEMPLO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO, INSTALADO EN UN ESTACIONAMIENTO

Fuente: http://energiasolar1cm8.blogspot.cl/2015/07/energia-solar_22.htm



ILUSTRACIÓN 6: EJEMPLO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO, INSTALADO EN UN SATELITE

Fuente: www.google.cl/search?q=USOS+DE+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwj-Qn9Hg4ozTAhWIIJAKHV_fAAUQ_AUICCGB&biw=1366&bih=638&dpr=1#imgrc=ksWJo9_n_2067M

En el caso de los sistemas fotovoltaicos de uso domiciliario, una de las ventajas es que pueden montarse en las estructuras o techumbres de las casas y edificios, reduciendo de esta forma las necesidades de espacio para su implementación.

Los sistemas pueden generar energía eléctrica para el autoconsumo (utilizada comúnmente por los electrodomésticos, iluminación, etc.) mientras se disponga de energía solar (fotovoltaico, foto=luz, voltaico= electricidad). Si se desea garantizar un suministro continuo de electricidad, se hace necesario que el sistema se encuentre conectado a la red de energía eléctrica, o bien contar con un sistema de almacenamiento (batería).

En Chile, bajo el alero de la Ley de Generación Distribuida (Net-billing), se establece el derecho a los hogares, escuelas, negocios, entre otros, (los llamados clientes regulados) a autoabastecer su consumo eléctrico a través de equipos de generación propia (como por ejemplo paneles fotovoltaicos) e inyectar los excedentes de energía a la red, recibiendo una compensación económica por ello.

CONCEPTO CLAVE

Se denominan sistemas fotovoltaicos conectados a la red u On Grid, los sistemas que inyectan la corriente eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos a la red pública y para ello se conectan a la red eléctrica a través de un inversor. El inversor transforma corriente continua a corriente alterna (CC-CA), igual a la suministrada por la red eléctrica.

En este sentido los sistemas Solares fotovoltaicos para uso domiciliario podrán ser sistemas conectados a red (On Grid) o sistemas aislados (Off Grid). Estos conceptos serán abordados con más detalle, más adelante.

La normativa nacional aplicable a sistemas conectados a red (On Grid) con inyección de excedentes, es la siguiente:

- **Ley de Generación Distribuida (Net-billing):** Del año 2012, del Ministerio de Energía. Regula el Pago de las Tarifas Eléctricas de las Generadoras Residenciales, así como la tramitación de la conexión.
- **Decreto 71, del 4 de junio de 2014, del Ministerio de Energía:** Reglamento de la Ley N° 20.571, que Regula el Pago de las Tarifas Eléctricas de las Generadoras Residenciales, así como el Procedimiento de Comunicación de Puesta en Servicio de Generadoras Residenciales.
- **RGR 01/2017** Establece la comunicación y declaración de la puesta en servicio de las instalaciones de generación.
- **RGR 02/2017** Reglamenta el diseño y ejecución de las Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a Red aplicable en Chile.

En el caso de sistemas conectados a la red pero sin inyección de excedentes, y sistemas aislados la normativa aplicable es:

- **NCh Elec. 4/2003 instalaciones eléctricas interiores domiciliarias:** La instalación fotovoltaica deberá contar con todos los permisos de la empresa distribuidora, así como de la inscripción del trámite de declaración (TE-1) por parte de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), para su operación. Esta Norma tiene por objeto fijar las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de consumo en Baja Tensión, con el fin de salvaguardar a las personas que las operan o hacen uso de ellas y preservar el medio ambiente en que han sido construidas. Contiene esencialmente exigencias de seguridad. Su cumplimiento, junto a un adecuado mantenimiento, garantiza una instalación básicamente libre de riesgos; sin embargo, no garantiza necesariamente la eficiencia, buen servicio, flexibilidad y facilidad de ampliación de las instalaciones, condiciones éstas inherentes a un estudio acabado de cada proceso o ambiente particular y a un adecuado proyecto.
- La recomendación para estas instalaciones conectadas a la red pero sin inyección de excedentes, y sistemas aislados es emplear también los instructivos técnicos RGR N° 01/2017 y RGR N° 02/2017.

No obstante, la mayoría de los conceptos técnicos para el instalador de sistemas fotovoltaicos son similares en los tres casos.

Chile en su constante preocupación por las energías renovables ha legislado a través de la Ley de generación ciudadana o distribuida de energía a través de un sistema que permite la autogeneración de energía en base a Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y cogeneración eficiente. Esta normativa otorga a los ciudadanos el derecho a generar su propia energía eléctrica, para autoabastecerse y además inyectar a la red de distribución los excedentes en horas en que las energía solar no sea consumida en el domicilio.

A continuación se presenta una gráfica que muestra “el funcionamiento” de la Ley de Generación Distribuida (Net-billing) que fue promulgada el año 2012 por el Ministerio de Energía y entro en vigencia el 22 de octubre de 2014; y sufrió una modificación el 2018.

CONCEPTO CLAVE ¿CÓMO FUNCIONA LA LEY DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA?

EJEMPLO DE UN SISTEMA DOMICILIARIO FOTOVOLTAICO

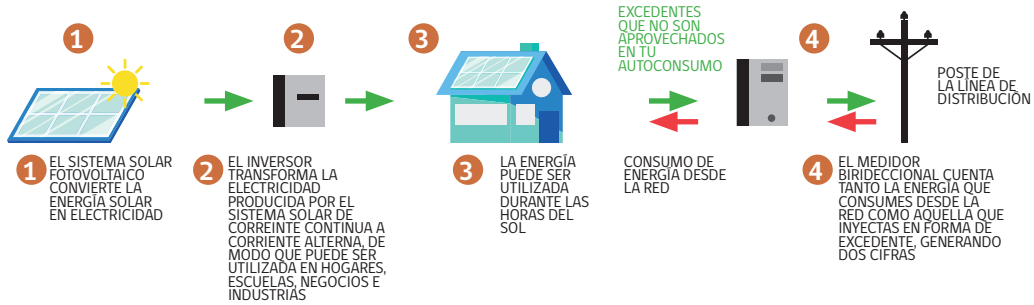


ILUSTRACIÓN 7: EJEMPLO DE UN SISTEMA DOMICILIARIO FOTOVOLTAICO, INSTALADO BAJO LA LEY DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA (LEY N°20.571)

Descargado Mayo, 2018 de www.minenergia.cl/ley20571/wp-content/uploads/2017/05/Ley-20571-Version-Web.pdf

A continuación se presenta un listado de recursos que podrá consultar para conocer más respecto al contexto nacional, uso de energías renovables y Ley de Generación Distribuida N° 20.571



INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Ministerio de Energía

- Página web del Ministerio de Energía, sección energías renovables. www.energia.gob.cl/energias-renovables.
- Página web del Ministerio de Energía, sección autoconsumo. www.minenergia.cl/autoconsumo.
- Nueva Guía Solar Fotovoltaica para Empresas e Industrias. www.minenergia.cl/autoconsumo/wp-content/uploads/2017/10/Sistemas-Solares-para-el-Autoconsumo.pdf.
- Explorador Solar, herramienta pública para estimar la generación de un sistema fotovoltaico. www.minenergia.cl/exploradorsolar.
- Programa de Techos Solares Públicos, se recomienda revisar documentos y guías de buenas prácticas. www.minenergia.cl/techossolares/?page_id=9Autoconsumo.pdf.

Superintendencia de Electricidad y Combustibles

- Página de la SEC, con información de la ley de generación distribuida. www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5819695&_dad=portal&_schema=PORTAL.
- Proceso de la Ley 20571. www.sec.cl/sitioweb/imagenes/netbilling/Proceso_de_Ley20571-2017.png
- Presentaciones realizadas en Seminarios de Ley Generación Distribuida de la SEC. www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,6071695,33_6121714&_dad=portal&_schema=PORTAL.

Comisión Nacional de Energía

- Portal energía abierta, información del sector energético nacional. www.energiaabierta.cl.

ACTIVIDAD 2

Ventajas y desventajas del uso de paneles solares



Forme un equipo de trabajo y compare las ventajas y desventajas de la utilización de paneles solares a nivel domiciliario.

Reflexione sobre la oportunidad que presenta para usted y su equipo de trabajo el desarrollo de esta tecnología.

1.2. CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO SOLAR Y EFECTO FOTOVOLTAICO

1.2.1. Características del recurso solar

Uno de los recursos más importantes para sustentar la vida en la tierra es la energía proveniente del sol, la que se manifiesta por medio de la luz y el calor.

¿SABIAS QUÉ?

- El sol es la estrella más cercana a la tierra, distante en promedio unos 150 millones de kilómetros.
- En su núcleo, debido a la alta temperatura, se libera energía mediante un proceso de fusión nuclear.
- La luz del sol tarda aproximadamente 8 minutos para llegar a la tierra.

La superficie del sol, con una temperatura de 5.778 K (Kelvin), se encarga de irradiar esta energía en forma de ondas electromagnéticas con distintas longitudes de onda, dentro de las cuales se encuentran la luz visible, los rayos UV y la radiación infrarroja. La característica principal de esta energía es que se propaga en el vacío sin necesidad de algún soporte material (es decir, puede viajar por el espacio). Esta energía se transmite a través de unidades denominadas fotones.

Existen dos magnitudes utilizadas en el ámbito fotovoltaico, la irradiancia y la radiación, que describen fenómenos vinculados, pero no equivalentes, por lo que es importante diferenciarlos.

RECUERDA

- La escala Kelvin es una escala para medir la temperatura y se utiliza comúnmente en ciencias. Los grados Celsius pueden transformarse a Kelvin de acuerdo a la siguiente fórmula: $K = ^\circ C + 273$
- Las ondas electromagnéticas se propagan mediante una oscilación de campos eléctricos y magnéticos. Estas ondas pueden viajar por el aire y por el vacío.

1.2.2. Irradiancia y radiación

Es una magnitud representada por el cociente entre la potencia (la energía por unidad de tiempo) y el área que recibe la radiación. En palabras simples la irradiancia nos permite conocer cuánta energía incide sobre un área en un tiempo determinado.

- Irradiancia =P/A
- Donde: P= potencia medida en Watts (W) y A= área en metros cuadrados (m²).

Las unidades presentadas anteriormente son las de irradiancia en el sistema internacional de unidades, sin embargo para usos prácticos de mediciones de radiación solar diaria y anual se utilizan las unidades kWh/m²/día y kWh/m²/año.

Esta se expresa en la siguiente fórmula:

$$E = \frac{P_{inc}}{A} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Donde:

- **E** es la irradiancia.
- **P_{inc}** la potencia incidente.
- **A** el área de la superficie que recibe la radiación.

Por su parte la **radiación** se refiere a la cantidad de irradiancia recibida en un tiempo determinado, por lo tanto es una medida de energía. En el medio fotovoltaico por lo general se utilizan las unidades “kWh/m²/día” para las radiaciones diarias y “kWh/m²/año” para radiaciones anuales. En palabras fáciles, la radiación es la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas.

DATO

La irradiancia en la parte externa de la atmósfera terrestre es de 1366 W/m², valor que se conoce como la constante solar.

Sin embargo, debido a la reflexión, difusión y absorción que realizan los elementos presentes en la atmósfera, la potencia que llega al nivel de mar es menor a la constante solar (aproximadamente 1000 W/m² en un día despejado).

CONCEPTO CLAVE FORMAS DE RADIACIÓN SOLAR A NIVEL TIERRA

En función de cómo incide la energía solar en la tierra, se distinguen tres componentes de la radiación:

Directa (que es la que viene del disco solar): Es la que proyecta sombra.

Difusa: Es la que viene de las otras direcciones de la bóveda celeste. No tiene una dirección preferencial y es mucho menor en magnitud.

Reflejada: Es la radiación solar que se refleja de objetos cercanos al observador. Por ejemplo, edificios, cerros e incluso nubes cercanas.

La suma de estas radiaciones se conoce como radiación global.

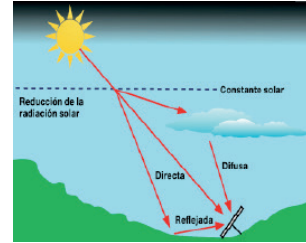


ILUSTRACIÓN 8: COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA

Fuente: Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados a Red/ Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT, 2013).

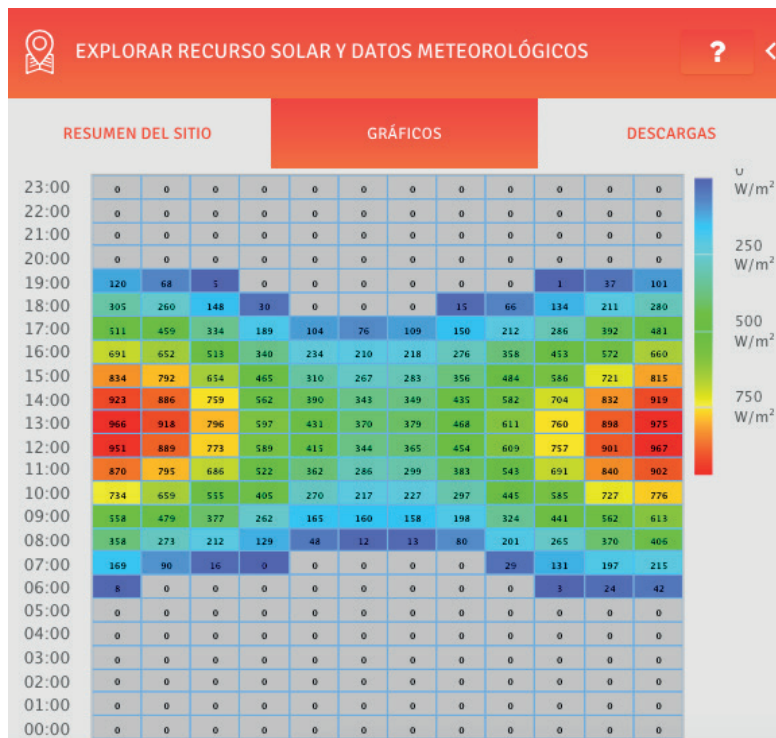


ILUSTRACIÓN 9: RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL, RESUMEN HORA

Fuente: Explorador solar, www.minenergia.cl/exploradorsolar

DATO

La masa del sol es tan densa que equivale a unas 332.830 veces la masa de la tierra y ejerce una fuerza de atracción que atrapa a los asteroides y cometas que pasan cerca de él. Cuando estas son atraídas a la superficie solar se desintegran y pasan a formar parte de esta estrella.

Chile es un país privilegiado por las condiciones de radicación presentes en el territorio, lo que hace que la tecnología solar fotovoltaica sea competitiva y de bajo impacto ambiental.

En Chile, cada m² de superficie horizontal recibe, de norte a sur, entre 2.600 y 1.100 kWh de energía por m² al año.

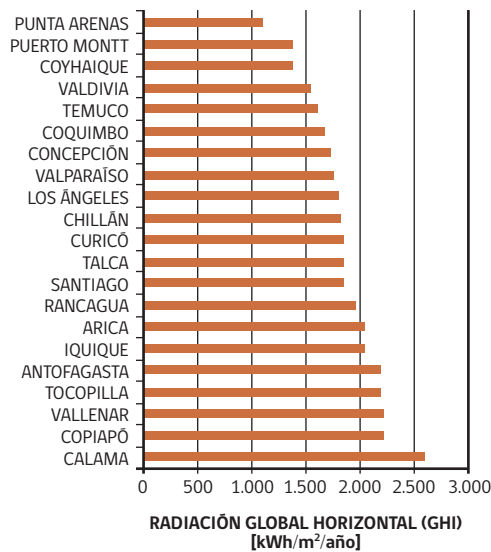


ILUSTRACIÓN 10: RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL DE DISTINTAS CIUDADES DE CHILE

Fuente: División Energías Renovables, Ministerio de Energía



ILUSTRACIÓN 11: MAPA DE RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL DE CHILE

¿SABIAS QUÉ?

- La zona norte de Chile, presenta la mejor radiación solar del mundo.
- La zona sur austral recibe aproximadamente la misma radiación que la zona centro-norte de Europa.
- Por ejemplo: La radiación de Chiloé es equivalente a la del sur de Alemania, que es uno de los principales productores de energía fotovoltaica en el mundo.

El Explorador Solar del Ministerio de Energía es una potente herramienta para la exploración del recurso solar en Chile y para la estimación de generación de energía eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos. El Explorador Solar entrega información sobre la radiación solar incidente en cualquier punto del país, con resolución espacial de 90 metros. Para cada punto se pueden obtener las series de radiación global y directa para cada hora, en todo el período comprendido entre los años 2004 y 2016. Esto permite conocer la variabilidad del recurso en el tiempo y reducir la incertidumbre en la generación de energía a largo plazo.

Esta herramienta está disponible en el sitio del Ministerio de Energía (www.minenergia.cl/exploradorsolar) y permite acceder a los siguientes módulos:

- **Calcular el ahorro en la cuenta de luz:** Sirve para calcular de forma rápida el ahorro que podrías obtener al instalar un sistema fotovoltaico en tu domicilio o empresa y conectarlo a la red, de acuerdo a la ley de Generación Distribuida.
- **Explorar:** Compara el recurso solar y las características meteorológicas de distintos lugares en forma rápida y sencilla.
- **Calcular Sistemas fotovoltaicos:** Sirva para estimar la generación de un sistema fotovoltaico en cualquier parte del país, según el tamaño del sistema.



INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- Explorador Solar, herramienta pública para estimar la generación de un sistema fotovoltaico: www.minenergia.cl/exploradorsolar.
- Revisar Manuales de uso de los módulos del Explorador Solar en viñeta "Documentación": Video tutorial explorador solar (1:21 minutos) www.youtube.com/watch?time_continue=28&v=AeNUs4lm8fY.

ACTIVIDAD 3

Reflexión: La luz y la irradiancia



Reflexión

Sabiendo que la luz se comporta como onda y como partículas (fotones), reflexione por qué los paneles solares funcionan tanto en verano como en invierno:

- ¿Se produce la misma cantidad de energía en periodos estivales e invernales? Justifique su respuesta en base a los contenidos planteados en la clase y sus conocimientos previos (física I° medio).
- Forme un equipo de trabajo con sus compañeros y diseñe un papelógrafo en que expone sus respuestas y conclusiones. Seleccione uno o dos representantes que realicen una exposición en la que utilizan el material de apoyo. (Recuerde utilizar tono de voz y expresión corporal adecuados).

ACTIVIDAD 4 La irradiancia



Práctica: Utilizando el Maletín de fundamentos, realice las siguientes actividades.

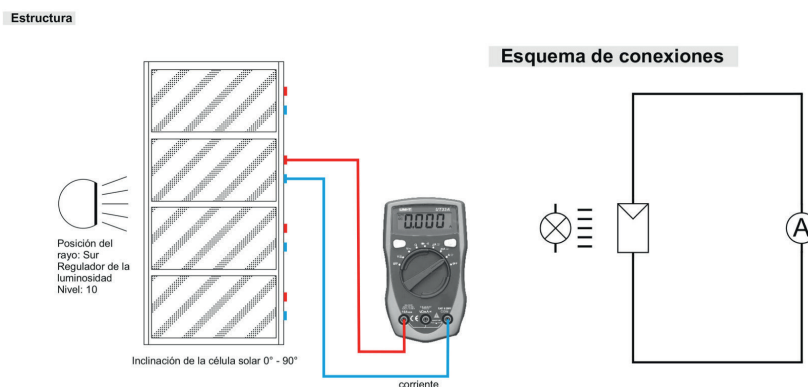


ILUSTRACIÓN 12: ESQUEMA DE CONEXIONES

Fuente: Payelec, Manual Solartrainer, 2017

Determine la intensidad de irradiación de diferentes fuentes lumínicas, por ejemplo como se detalla en la siguiente tabla.

FUENTE LUMÍNICA	INTENSIDAD DE IRRADIACIÓN (W/M ²) CON UNA DISTANCIA	INTENSIDAD DE IRRADIACIÓN (W/M ²) CON UNA DISTANCIA	INTENSIDAD DE IRRADIACIÓN (W/M ²) CON UNA DISTANCIA
RAYO (NIVEL 10)			
LINTERNA			
ILUMINACIÓN DE LA ESTANCIA			
SOL			
SOL/CIELOS CUBIERTOS			

- Los casquillos de salida del sensor se conectan a un multímetro como voltímetros, interruptores de selección de rango en la posición V DC, tal y como se representa arriba.
- La superficie del sensor debe mantenerse en dirección a la fuente lumínica de tal manera que dé como resultado el valor de medición máximo.
- La superficie y la célula solar del sensor no se pueden sombrear durante la medición.
- Se visualiza directamente en W/m².
- El sensor reacciona a partir de una intensidad de irradiación de aprox. 15 W/m.
- Lleve a cabo las mediciones también en diferentes distancias de las fuentes lumínicas artificiales.

¿Cómo se diferencian las fuentes lumínicas en relación con su potencia?

¿Qué observaciones se pueden realizar?

1.2.3. Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico corresponde a la transformación de la luz en energía eléctrica, utilizando los fotones que chocan contra las celdas solares, provocando que los electrones absorban la energía y se cree un campo eléctrico. Los electrones fluyen generando una corriente eléctrica que es aprovechada por el sistema fotovoltaico.

Este efecto fotovoltaico constituye el principio de las celdas fotovoltaicas y es, por lo tanto, fundamental para la producción de electricidad mediante energía solar.

ACTIVIDAD 5 Los fotones y el efecto fotovoltaico



Explique el efecto fotovoltaico, a partir de lo expuesto en la siguiente imagen.

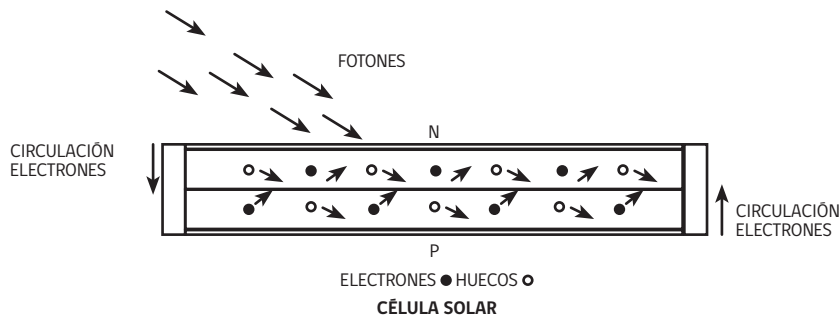


ILUSTRACIÓN 13: CÉLULA SOLAR


Fuente: <https://galakia.com/celulas-paneles-solares-energia-fotovoltaica/>

Formar un equipo de trabajo con sus compañeros, analice la imagen y formule una explicación que se presentará a los demás estudiantes.

1.2.4. Tipos de celdas solares

La energía fotovoltaica utiliza celdas construidas, generalmente, con semiconductores para convertir la radiación solar en electricidad.

Existen diversas celdas fotovoltaicas, sin embargo, el material más común en la fabricación de estas es el silicio. Los tres principales tipos de celdas de silicio son:

<p>Monocrystalina: Las celdas poseen una estructura uniforme, donde todos los átomos están perfectamente alineados, formando un solo cristal.</p>	 <p>ILUSTRACIÓN 14: DETALLE DE CELDA MONOCRISTALINA</p> <p>Fuente: http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-structure</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su comportamiento uniforme le proporciona un buen rendimiento. ▪ Tiene una compleja fabricación. ▪ Se reconocen por su coloración azulada oscura y metálica. ▪ Eficiencia 15% a 21%. ▪ Existen módulos con voltajes de 12 y 24 V, especiales para sistemas aislados y con voltajes mayores que son utilizados principalmente en sistemas conectados a la red.
<p>Policristalinas: Las celdas poseen una estructura ordenada por regiones, en la que sus átomos presentan diferentes direcciones debido a que están fabricados con distintos cristales de silicio.</p>	 <p>ILUSTRACIÓN 15: DETALLE DE CELDA POLICRISTALINA</p> <p>Fuente: Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados a Red/ Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT, 2013).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Precio más económico que los monocrystalinos. ▪ Las técnicas de fabricación son menos complejas que el monocrystalino. ▪ Comportamiento uniforme con resultado de buenos conductores. ▪ Color característico azulado oscuro con semejanza metálica. ▪ Eficiencia 12% a 17%. ▪ Existen módulos con voltajes de 12 y 24 V, especiales para sistemas aislados y con voltajes mayores que son utilizados principalmente en sistemas conectados a la red.
<p>Amorfas: Las celdas cuentan con material semiconductor que se deposita como película fina en distintos soportes, lo que permite producir módulos rígidos o flexibles.</p>	 <p>ILUSTRACIÓN 16: CELDA AMORFA</p> <p>Fuente: Xunlight http://es.engadget.com/2009/06/05/xunlight-logra-crear-paneles-solares-flexibles-de-gran-tamano/</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su composición presenta un alto grado de desorden. ▪ Tienen un proceso más simple de fabricación por lo que resultan más económicos. ▪ Se depositan en forma de lámina sobre vidrio o plástico. ▪ Son eficientes ante baja iluminación o radiación solar. ▪ Se reconocen por su color marrón homogéneo. ▪ Tienen un rendimiento más bajo que los 2 tipos anteriores, entre un 5% a un 10%.

INVESTIGUE SOBRE TECNOLOGÍA DE CAPA FINA

Las celdas de tecnología de capa fina, que pueden ser fabricadas con otros elementos distintos al silicio como el diseleniuro de cobre e indio (CIS), el telurio de cadmio (CdTe) y el seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS).

¿Cuál es la principal diferencia respecto a las celdas de Silicio? y ¿Cuál es su aplicación?



ILUSTRACIÓN 17: CELDA DE TECNOLOGÍA DE CAPA FINA

Fuente: SOLAR SERVER www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/archiv-2011/2011/kw03/photovoltaik-gebaeudeintegration-effizientestes-flexibles-solarmodul-auf-der-bau-2011-in-berlin-zu-sehen.html

1.2.5. Propiedades eléctricas de las celdas solares

Todas las celdas fotovoltaicas tienen uno o más campos eléctricos que actúan para forzar a los electrones liberados por la acción de la luz para fluir en una cierta dirección. Este flujo de electrones genera corriente y una vez que se ponen los contactos de metal en su parte superior e inferior de la celda, se genera la electricidad para usarla externamente. Esta corriente junto con el voltaje de celda, define la potencia que puede entregar la celda solar.

DATO

El silicio puro no sirve como conductor, por eso se utiliza silicio con impurezas de fósforo (tipo-N) y Boro (tipo-P). Con la impureza prevalecen los electrones libres, los cuales son movilizados cuando la luz en forma de fotón choca con la celda fotovoltaica, esto provoca la ruptura de la neutralidad eléctrica y la creación de un campo eléctrico.

Los electrones que fluyen constituyen la corriente y el campo eléctrico de la celda constituye el voltaje. Con la corriente y voltaje tenemos la potencia de la celda.

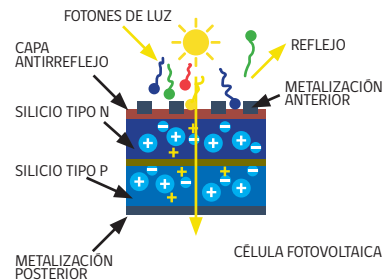


ILUSTRACIÓN 18: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

La eficiencia eléctrica de una celda fotovoltaica se expresa por el porcentaje de energía solar que llega a la superficie de un panel y que es convertida en electricidad utilizable. Mejorar la eficiencia de conversión es un objetivo clave en la investigación de la tecnología fotovoltaica y hace que éstas tengan costos competitivos con las fuentes de energía convencionales.

CONCEPTO CLAVE

La eficiencia de la celda fotovoltaica se expresa por el porcentaje de energía solar que llega a la superficie de un panel y que es convertida en electricidad utilizable.

Un módulo fotovoltaico de 1 m², puede entregar una potencia nominal de entre 115 Wp y 160 Wp dependiendo de la tecnología y la potencia de las células fotovoltaicas que lo componen.

Los factores que afectan la eficiencia o rendimiento de la instalación viene determinado por una serie de factores como:

- **Longitud de Onda:** cuando la luz golpea la superficie de una celda fotovoltaica, algunos fotones son reflejados, otros son absorbidos y transforman su energía en calor y los restantes tienen la cantidad de energía necesaria para separar los electrones de sus enlaces atómicos y producir una corriente eléctrica.
- **Temperatura:** las celdas solares, por lo general, trabajan mejor a bajas temperaturas. Las altas temperaturas causan que las propiedades del semiconductor cambien, resultando en un pequeño incremento en la corriente, pero una alta disminución en el voltaje. El módulo, adquiere, en operación, temperaturas superiores a los 25°C con los que se midió en fábrica (pérdidas entre un 5% y un 10%).
- **Reflexión:** la eficiencia de una celda puede ser incrementada minimizando la cantidad de luz reflejada desde la superficie de la celda. Por ejemplo, el silicio no tratado refleja más del 30% de la luz incidente. Los revestimientos anti reflexión y superficies texturadas ayudan en la disminución de la reflexión. Una celda de alta eficiencia será de un color azul oscuro o negro.

1.2.6. Curva característica de tensión - corriente de una célula fotovoltaica y sus puntos esenciales

La curva I-V (corriente - voltaje) de una celda fotovoltaica describe su capacidad de conversión energética a una condición dada de irradiancia (nivel de luminosidad) y temperatura. Conceptualmente, la curva representa las combinaciones de corriente y voltaje a los cuales puede operar una celda "en carga", si la irradiancia y la temperatura de la celda se mantuvieran constantes.

La siguiente ilustración, muestra una típica curva I - V, la curva P - V (potencia - voltaje) que se puede obtener de ella y sus puntos principales.

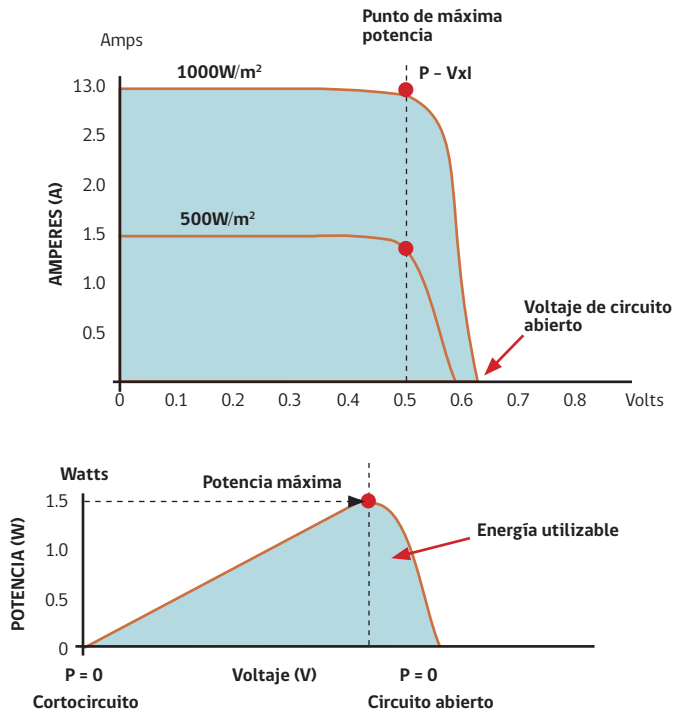


ILUSTRACIÓN 19: CURVA I-V, CURVA P-V

Fuente: Elaboración Propia, 2018

Observando la figura, podemos ver que la curva va desde la corriente de cortocircuito (ISC) a cero volts, hasta el voltaje de circuito abierto (VOC), con corriente cero. En el “codo” de una curva I-V típica se encuentra el punto de máxima potencia (I_{mp} , V_{mp}), el cual representa el punto en donde la celda genera su máxima potencia eléctrica.

En un sistema fotovoltaico operativo, uno de los trabajos del inversor es ajustar la carga constantemente, buscando ese punto particular de la curva I - V donde el generador fotovoltaico, como un todo, logra la potencia CC más alta.

A voltajes muy por debajo de V_{mp} , el flujo de la corriente eléctrica solar generada hacia una carga externa es relativamente independiente del voltaje de salida. Cerca al codo de la curva, este comportamiento comienza a cambiar. Al incrementar el voltaje, un porcentaje creciente de cargas se recombinan dentro de la celda en vez de fluir hacia la carga. En el punto de voltaje de vacío, VOC, toda la carga se recombina internamente, por lo que la corriente cae a cero. El punto de máxima potencia, localizado en el codo de la curva, es el punto (I,V) en el cual el producto de corriente y voltaje (es decir, la potencia) llega a su máximo valor.

ACTIVIDAD 6

Comparación de las eficiencias (rendimiento) de las celdas fotovoltaicas monocristalinas, policristalinas y capa fina



Analice la curva característica de una celda fotovoltaica.

EFICIENCIA DE UNA CELDA FOTOVOLTAICA

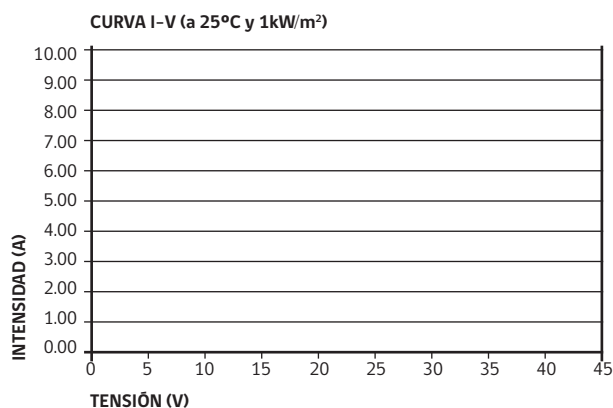
1. Compare la eficiencia de la celda fotovoltaica en función material de fabricación, utilizando los datos de la tabla.

Tabla 1

	MONOCRISTALINO	POLICRISTALINO	CAPA FINA
EFICIENCIA	15 - 21 %	12 - 17 %	5 - 11 %

2. A continuación se presenta una curva característica de una celda fotovoltaica. Diseñe los puntos más importantes de la curva: I-V

Gráfico 1



La siguiente actividad tiene como propósito reforzar la comprensión del contenido teórico relacionado al análisis de tensión de circuito abierto y corriente de corto circuito de manera práctica utilizando el maletín de fundamentos del laboratorio didáctico de tu liceo.

Considerar para la siguiente actividad que la intensidad de la corriente de cortocircuito depende de la superficie irradiada de la célula solar, la intensidad de irradiación, el espectro de luz que incide y la temperatura.

La intensidad de la corriente de cortocircuito aumenta ligeramente conforme aumenta la temperatura, en aprox. 0,01%/K.

Agrandar la superficie de la célula solar significa prácticamente conectar en paralelo las fuentes de corriente.

Así, conforme aumenta la superficie aumenta linealmente la intensidad de la corriente de cortocircuito.

ACTIVIDAD 7

Análisis de la tensión de circuito abierto y corriente de corto circuito de una celda fotovoltaica a distintas intensidades de radiación



Práctica. Utilizando el Maletín de fundamentos, realice las siguientes actividades:

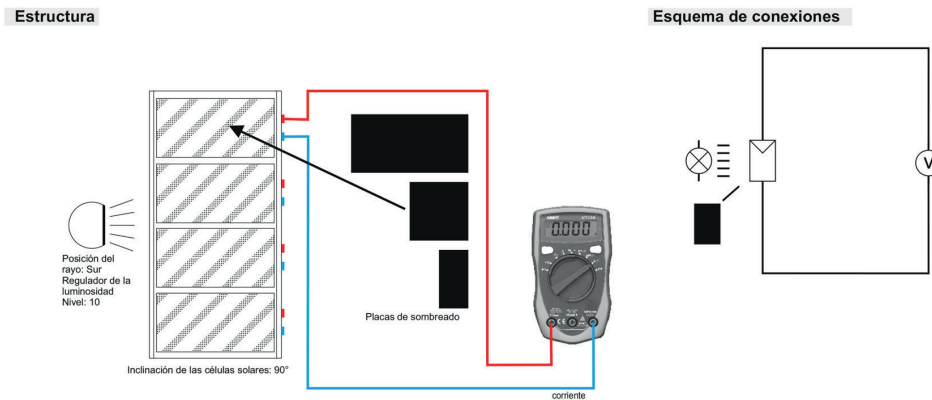


ILUSTRACIÓN 20: ESQUEMA DE ESTRUCTURA Y CONEXIONES

Fuente: Payelec, Manual Solartrainer, 2017

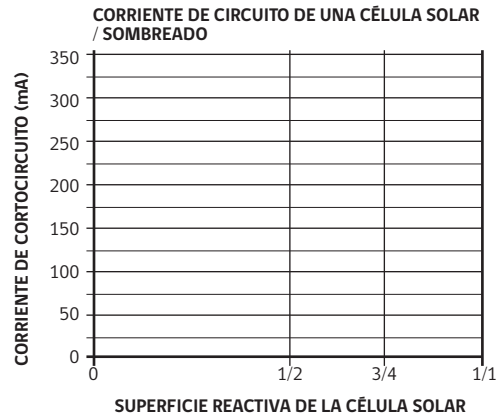
Construya el experimento de acuerdo con la representación mostrada más arriba.

- El brazo de la lámpara se encuentra en la posición Sur, el regulador de la luminosidad en el nivel 10.
- El interruptor de selección de rango del multímetro como amperímetro debe ajustarse a la posición A DC.
- Cubra completamente la célula solar con la placa de sombreado 1/1, mida la corriente de cortocircuito e introduzca el valor en la siguiente tabla.
- Continúe cubriendo la mitad, 1/4 cubierto y uno sin cubrir y mida la corriente en cada caso. Introduzca los valores medidos en la tabla y una los puntos de las mediciones con líneas.

A: ¿Qué conocimiento se obtiene de la medición?

SUPERFICIE IRRADIADA DE LA CÉLULA SOLAR	0	1/2	1/4	1/1
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [mA]				

Gráfico 1



A:

1.3. EFECTO TÉRMICO

1.3.1. Definición efecto térmico

RECUERDA

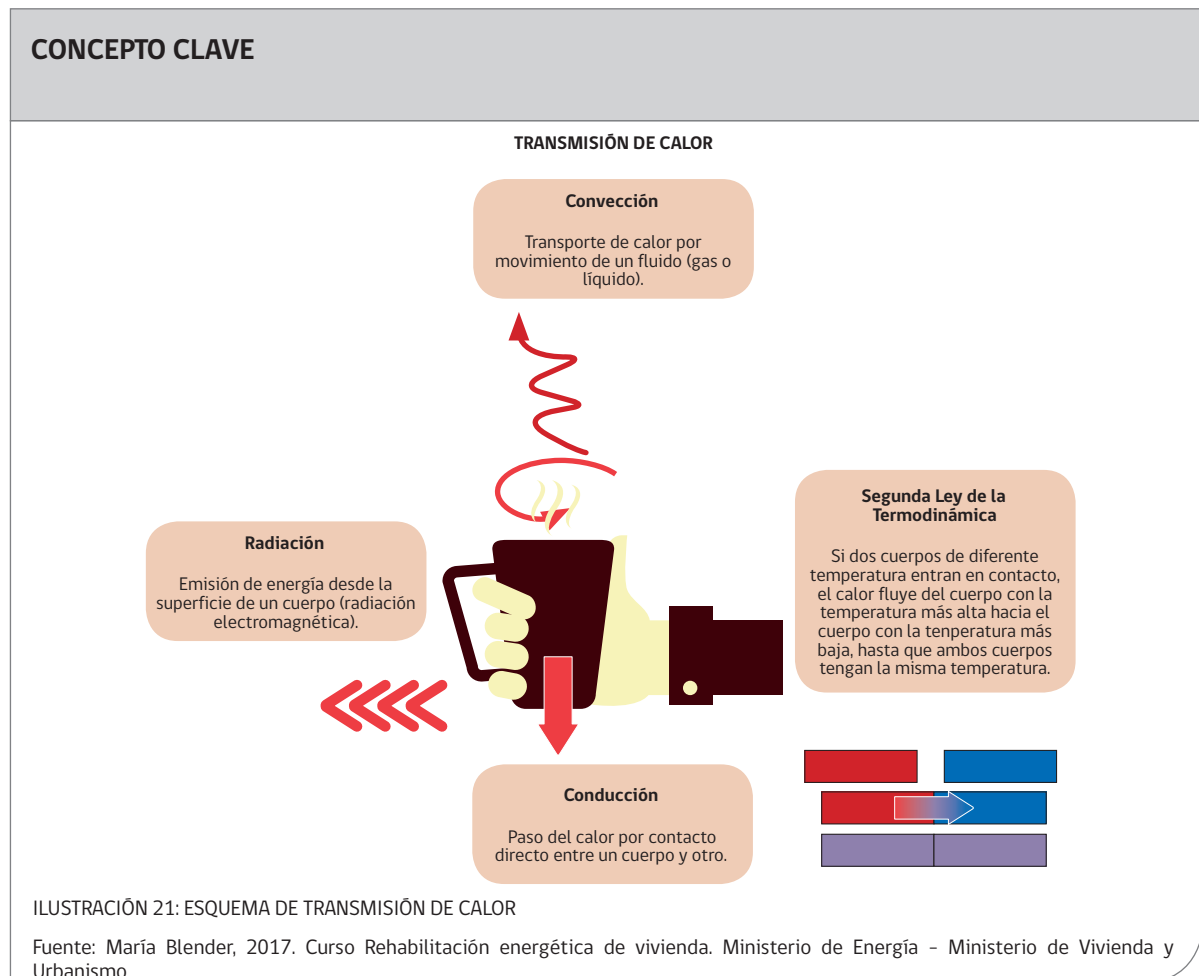
El efecto térmico se da cuando los conductores y resistencias se calientan al ser atravesados por una corriente eléctrica. La energía calorífica generada en un punto se transmite desde zonas de más alta temperatura a las zonas de más bajas temperatura.

Para analizar el comportamiento de la temperatura al interior de un sistema fotovoltaico hay que reconocer los tres tipos de mecanismos que tiene la energía para disiparse: conducción, convección y radiación.

Conducción: Es la transferencia de calor que ocurre en un sólido o fluido en reposo mediante movimientos de rotación y vibración a escala molecular. Estos movimientos son más intensos a altas temperaturas por lo que la transferencia de energía ocurre desde zonas de alta a baja temperatura.

Convección: Es la transferencia de calor dentro de un fluido (líquido o gaseoso) que fluye con movimientos macroscópicos, es decir, la transferencia de energía ocurre por la mezcla de porciones de fluido a distintas temperaturas. Este movimiento macroscópico del fluido se conoce como campo de velocidades y es el encargado de generar el traspaso de calor.

Radiación: Es la transferencia de calor a través de un medio transparente como el aire o por el vacío que se propaga a través de ondas electromagnéticas.



La **resistencia térmica** se define como la oposición que opone un cuerpo o volumen a que el calor fluya a través de él. Es una propiedad que depende del material del que esté compuesto el cuerpo, área de intercambio térmico y de la geometría.

ACTIVIDAD 8

Reflexión: Transmisión de calor y su aplicación en la vida diaria



Aplicación práctica en la vida diaria:

1. ¿La resistencia térmica de estos materiales es la misma?



ILUSTRACIÓN 22: TAZAS DE DISTINTAS MATERIALIDADES

Fuente: Blender, 2017. Curso Rehabilitación energética de vivienda. Ministerio de Energía -Ministerio de Vivienda y Urbanismo

2. ¿Por qué es común utilizar cucharas de madera cuando se cocina?

1.3.2. ¿Cómo afecta la temperatura a la eficiencia de una celda fotovoltaica?

A medida que la temperatura en la celda se incrementa, la corriente de salida también se incrementa exponencialmente, mientras que el voltaje de salida se reduce linealmente. En efecto, esta reducción de voltaje es tan predecible que puede ser usada como una medida acertada de la temperatura.

La industria ha establecido estándares relacionados con la temperatura y la eficiencia de una celda fotovoltaica. Para ello fija las "condiciones de prueba estándar" (STC, por las siglas en inglés). Mediante el uso de un conjunto fijo de condiciones, todos los paneles solares se pueden comparar con mayor precisión y clasificar entre sí. Hay tres condiciones de prueba estándar que son:

- **Temperatura de la celda:** 25°C, se refiere a la temperatura de la célula solar en sí, no la temperatura del entorno o ambiente.
- **Irradiancia solar:** 1000 W por metro cuadrado. Este número se refiere a la cantidad de energía de la luz que cae en un área determinada en un momento dado.
- **Masa del aire:** 1.5 Este número se refiere a la cantidad de luz que debe pasar a través de la atmósfera de la tierra antes de que pueda llegar a la superficie, y tiene que ver mayormente con el ángulo del sol relativo a un punto de referencia sobre la tierra. Este número es mínimo cuando el sol está directamente sobre la superficie, ya que la luz debe viajar la mínima distancia en línea recta y se incrementa a medida que el sol se aleja del punto de referencia y disminuye el ángulo de incidencia para golpear el mismo punto en la superficie.

Sin embargo, éstas son condiciones idealizadas que no reflejan las condiciones reales del sitio, bajo las cuales operará un módulo fotovoltaico. Las condiciones NOCT (Nominal Operating Cell Temperature o Temperatura de Operación Nominal de Celda) apuntan a simular la realidad más de cerca:

- La irradiancia es de 800 W por metro cuadrado, lo que tiene en cuenta que los módulos fotovoltaicos no siempre se enfrentan al sol. También considera condiciones atmosféricas o geográficas que podrían disminuir la radiación solar incidente.

- Los paneles solares se calientan significativamente durante su operación, por lo que la temperatura considerada es de 45 (+/- 3)°C.
- El espectro de luz es el mismo que para las STC (1.5 AM) (masa de aire).
- Se considera una velocidad del viento de 1 m / s, con aire a 20°C.

Existen formas para lidiar con el fenómeno de la temperatura, por ejemplo:

- Revisar la ficha técnica del fabricante y observar el coeficiente de temperatura de máxima potencia. Término llamado "coeficiente de temperatura (Pmax)" que dice cuánta potencia perderá el panel cuando la temperatura se eleve 1°C por sobre los 25°C a STC (STC corresponde a Standard Test Conditions, o Condiciones de Prueba Estándar). Dependiendo en qué locación están instaladas, el calor puede reducir la eficiencia de salida entre un 10% - 25%.
- Instalar los paneles a unos pocos centímetros del techo para permitir que el flujo de aire convectivo enfríe los paneles.
- Asegurarse de que los paneles son construidos con materiales que reducen la absorción de calor.
- Para evitar esta baja de rendimiento es usual que se utilicen disipadores de calor, que absorben o dirigen el calor hacia el exterior de un espacio confinado utilizando perfiles de tipo rectangular, triangular y parabólica.

DATO

Para una región geográfica donde las temperaturas más frecuentes son mayores a 25°C, se recomienda considerar alternativas de módulos mono o policristalinos, los cuales tienen la más alta eficiencia y además los coeficientes de temperatura (Pmax) más altos.

CONCEPTO CLAVE

El rendimiento eléctrico de las células solares disminuye con el aumento de su temperatura de trabajo

La siguiente actividad busca analizar información técnica y realizar una relectura de los datos para contestar un cuestionario.

ACTIVIDAD 9

Efecto térmico sobre una celda fotovoltaica



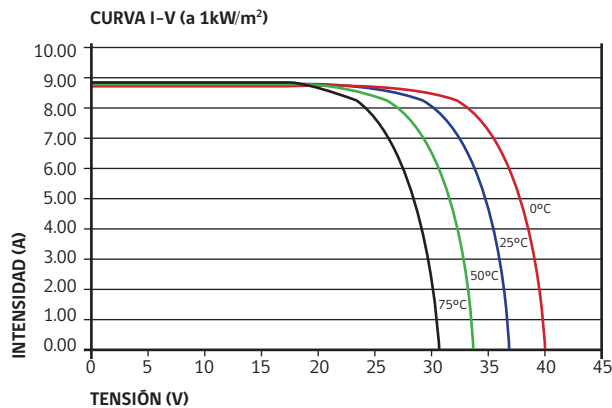
Comportamiento térmico de una celda fotovoltaica:

Tabla 1

	MONOCRISTALINO	POLICRISTALINO	CAPA FINA
COMPORTAMIENTO TÉRMICO	Reducción de potencia a altas temperaturas -0,47 %/°C	Reducción de potencia a altas temperaturas -0,45 %/°C	Menor reducción de potencia -0,25 %/°C

Considere la información gráfica y su interpretación:

Gráfico 1



- El aumento de temperatura disminuye la tensión
- Si la temperatura aumenta, la tensión disminuye y la corriente se mantiene constante.
- Por lo tanto, la potencia disminuye.

1. Utilizando la ficha técnica de un panel fotovoltaico, responda lo siguiente:
 - ¿A qué corresponden las siglas STC y NOCT y a qué condiciones se establecen?
 - ¿Qué quiere decir el término "masa de aire", AM (Air Mass)?
 - Investigue ¿Cuál es la definición de los parámetros térmicos CT ISC, CT VOC y CT Pmp?
2. Utilizando los siguientes parámetros térmicos de un panel fotovoltaico:

Tabla 2

TEMPERATURA RATINGS	
NOMINAL OPERATING CELL TEMPERATURE (NOCT)	45 ± 2°C
TEMPERATURE COEFFICIENT OF P _{MAX}	-0.41 %/°C
TEMPERATURE COEFFICIENTE OF V _{oc}	-0.32 %/°C
TEMPERATURE COEFFICIENT OF I _{sc}	+0.055 %/°C

Responda:

- ¿Qué sucede si la temperatura aumenta a 45°C, suponiendo que la I_{sc} a 25°C (condiciones STC) es de 8,06 A y la V_{oc} a 25°C es de 46,2 V? La potencia nominal del módulo es de 320 W (en condiciones STC).

La siguiente actividad tiene como propósito reforzar la comprensión del efecto de la temperatura en el comportamiento de las celdas solares, de manera demostrativa y bajo simulación de diferentes escenarios. Te invitamos a utilizar el maletín de fundamento con el cual cuenta el laboratorio fotovoltaico de tu liceo

ACTIVIDAD 10

Analizar el efecto de la temperatura sobre las celdas solares



Práctica. Utilizando el Maletín de fundamentos, realice las siguientes actividades:

1. ¿Qué sucede con los parámetros eléctricos al enfriarse o calentarse una celda fotovoltaica?
2. De acuerdo a lo anterior, determine si es importante considerar una buena ventilación en la instalación de celdas solares.
3. ¿Qué sucede con la corriente de cortocircuito al aumentar la temperatura?
4. ¿Existe algún efecto sobre la tensión de vacío al aumentar la temperatura?
5. ¿Cómo afectará a la potencia de salida de una celda fotovoltaica el aumento de temperatura?
6. Dibuje la curva de VOC e ISC de una celda fotovoltaica al variar aumentar la temperatura.

1.4. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos o paneles fotovoltaicos, están compuestos por la unión de varias celdas solares, ya sea en serie, en paralelo o como arreglo fotovoltaico, según se menciona a continuación.

1.4.1. Unión de celdas

Una celda o célula solar típica tiene en la actualidad una superficie de 12 x 12 cm y produce una tensión de entre los 0,5 a los 0,6 volts, lo que equivale a una intensidad cercana a 1 A. Dada la escasa tensión y potencia que generan, es necesario conectar varias de ellas en serie dando origen a un módulo fotovoltaico o panel fotovoltaico.

Para ello, las celdas solares pueden estar dispuestas en serie o en paralelo.

Con el fin de aumentar tensión y potencia, es posible conectar varias células en serie. Para ello, se une el conector superior (negativo) de una célula con el conector inferior (positivo) de la siguiente. Al quedar las celdas conectadas en un circuito serie, las tensiones o voltajes individuales se suman algebraicamente, aumentando así la tensión.

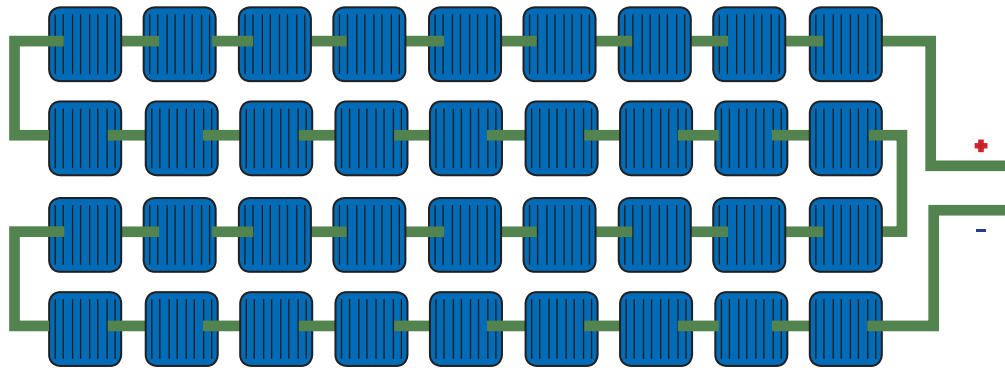


ILUSTRACIÓN 23: CONEXIÓN DE CELDAS EN SERIE DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Existen distintos métodos de conexión entre celdas, con el fin de producir más voltaje de salida, aumentar amperaje, etc. Hay tres formas básicas de conectar celdas solares:

1.4.1.1. Conexión de celdas solares en serie

En este caso, la conexión de celdas solares en serie se usa para aumentar el voltaje total del sistema. Las celdas solares en serie suman el voltaje producido por cada panel individual, dando el voltaje de salida total tal como muestra la siguiente figura:

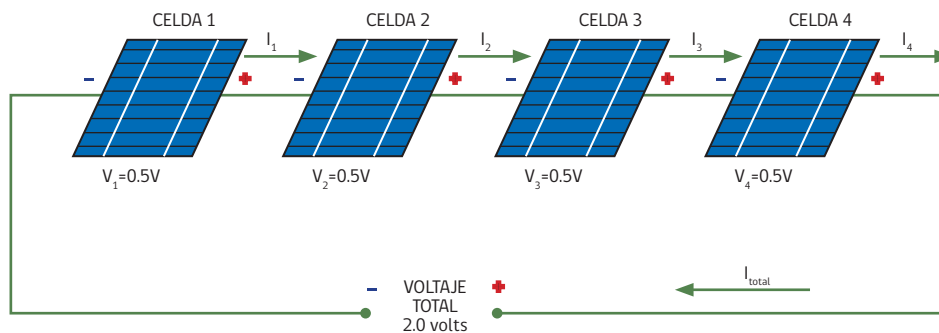


ILUSTRACIÓN 24: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE CELDAS SOLARES EN SERIE

Fuente: Elaboración propia, 2018

1.4.1.2. Conexión de celdas solares en paralelo

El siguiente método que veremos al conectar paneles solares es lo que se conoce como "conexión en paralelo". La conexión de celdas solares en paralelo se utiliza para aumentar la corriente total del sistema. Se deben conectar todos los terminales positivos juntos (de positivo a positivo) y todos los terminales negativos juntos (de negativo a negativo).

Cuando se conectan celdas solares en paralelo, la salida de voltaje total permanece igual como si fuera de un solo panel, pero la corriente total de salida es la suma de las corrientes de cada uno de los paneles en paralelo, tal como lo muestra la siguiente figura:

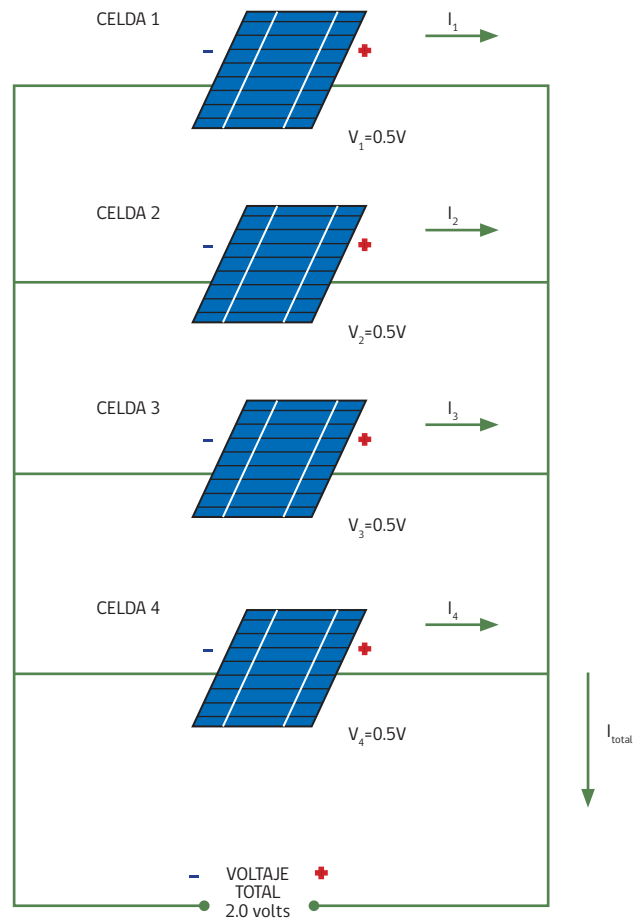


ILUSTRACIÓN 25: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE CELDAS EN PARALELO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Un **arreglo fotovoltaico** correspondería a la interconexión en paralelo de varios paneles en serie (strings). En este caso, el número de paneles en serie para cada string debe ser el mismo.

ACTIVIDAD 11

Armar módulos mediante la conexión de celdas solares y determinar el área requerida



PARTE A

Considere la siguiente ficha técnica de un panel fotovoltaico de 72 celdas y la numeración de 320 a 340 es la potencia máxima de salida para cada caso:

Tabla 1

ESPECIFICACIÓN ELÉCTRICA (STC)					
TYPE (STC)	MARCA/ MODELO 320	MARCA/ MODELO 325	MARCA/ MODELO 330	MARCA/ MODELO 335	MARCA/ MODELO 340
PODER MÁXIMO P _{MAX} (W)	320	325	330	335	340
MÁXIMO PODER VOLTAJE V _{MP(V)}	37.4	37.6	37.8	38.0	38.2
MÁXIMO PODER CORRIENTE I _{MP (A)}	8.56	8.64	8.73	8.82	8.90
VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO I _{SC(A)}	9.17	9.24	9.33	9.41	9.49
ABRA EL CIRCUITO DE VOLTAJE V _{OC (V)}	45.8	46.0	46.2	46.4	46.6
EFICIENCIA DEL MÓDULO (%)	16.5	16.7	17.0	17.3	17.5
TOLERANCIA DE SALIDA DE POTENCIA P _{M (W)}	0 ~+5				
VALOR EN CONDICIONES DE TEXTO ESTÁNDAR STC (MASA DE AIRE AM1.5, IRRADIACIÓN 10000W / M2, TEMPERATURA DE LA CELDA 25°C)					

1. ¿Qué significa que el panel fotovoltaico sea de 72 celdas? Justifique su respuesta considerando el tamaño de este panel.
2. ¿Cómo están conectadas las celdas para lograr una tensión en vacío de 45.8 V para el panel de 320W, a partir de la información entregada en la ficha técnica?
3. ¿Cuál es la tensión individual de cada celda a partir de la información entregada en la ficha técnica?

PARTE B

Considere los siguientes parámetros mecánicos del módulo GCL de 320 W:

Tabla 2

DATOS MECÁNICOS	
CÉLULAS SOLARES	Poly 156 x 156 mm (6 pulgadas)
ORIENTACIÓN CELULAR	72 Cells (6 x 12)
DIMENSIONES DEL MODULO	1956 x 992 x 40mm (77 x 39.05 x 1.57 pulgadas)
PESO	22.5 kg / 26 Kg
VASO	Vidrio solar de alta transparencia 3.2 mm (0.13 pulgadas) or 4 mm(0.16 pulgadas)
HOJA TRASERA	Blanca
CUADRO	Plata, aleación de aluminio anodizado
J-BOX	IP67 Clasificado
CABLES	4.0 mm ² (0.006 pulgadas 2), 1200 mm (47.2 pulgadas)
CONECTOR	MC4 original o compatibles
CARGA DE VIENTO / CARGA DE NIEVE	2400 Pa / 5400 Pa*

*Para más detalles, consulte el manual de instalación de GCLSI

1. ¿Qué número de módulos es necesario para lograr 1 kW de potencia fotovoltaica?
2. ¿Qué área utilizaría 1 kW de esos módulos?

La siguiente actividad tiene como propósito reforzar la comprensión de los diferentes tipos de conexión (serie y paralelo) y producción eléctrica generada según el tipo de conexión de celdas.

ACTIVIDAD 12

Analizar el efecto de la conexión en serie y paralelo en el voltaje y la corriente de las celdas solares



Taller de aplicación: Utilizando el Maletín de fundamentos, realice las siguientes actividades enfocadas a analizar el efecto de la conexión serie y paralelo en el voltaje y la corriente de las celdas solares.

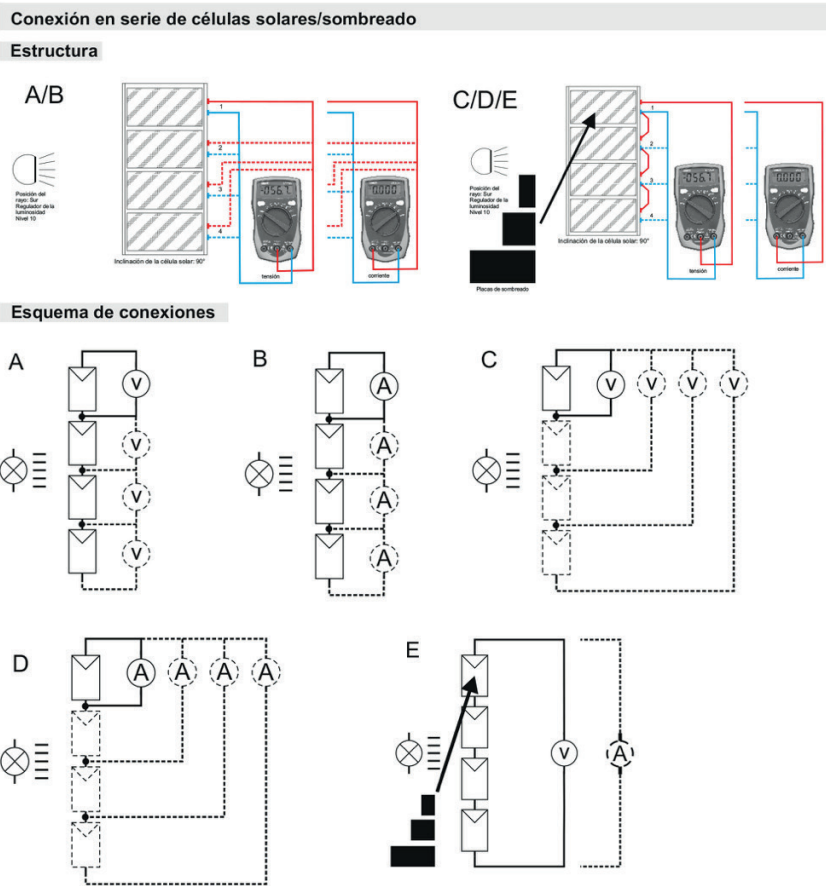


ILUSTRACIÓN 26: ESQUEMA DE CONEXIÓN EN SERIE DE CÉLULAS SOLARES/SOMBREADO

Fuente: Payelec, Manual Solartrainer, 2017

Forme equipos de trabajo con los estudiantes y construya el experimento de acuerdo con la ilustración 26; donde el brazo de la lámpara se encuentra en la posición Sur, el regulador de la luminosidad en el nivel 10. Recuerde que en Chile debiera ser posición Norte, y que en el caso del maletín es Sur por ser de origen Europeo.

- A:** Conecte un multímetro como voltímetro de acuerdo con la representación, el interruptor de selección de rango se debe ajustar a la posición V DC. En las células solares 1-4, mida la tensión en circuito abierto e introdúzcala en la tabla.
- B:** Conecte el segundo multímetro como amperímetro según se representa, el interruptor de selección de rango se debe ajustar a la posición A DC. En las células solares 1-4, mida la corriente de cortocircuito e introdúzcala en la tabla 1.
- C/D:** A continuación, realice una conexión en serie de la célula solar (1 y 2), (1, 2 y 3) y de las cuatro células solares según se representa arriba a la derecha y con los mismos ajustes del multímetro, mida la tensión en circuito abierto y la corriente de cortocircuito de la serie e introdúzcalas en la tabla 2.
- E:** Por último, en la conexión en serie de las cuatro células solares sombreé la célula solar con la menor corriente de cortocircuito por pasos con las placas de sombreado y, de nuevo, introduzca los valores de corriente y tensión en la tabla 3.

¿Qué se deduce de la evaluación de las tablas individuales?

Tabla 1

	CÉLULA SOLAR 1	CÉLULA SOLAR 2	CÉLULA SOLAR 3	CÉLULA SOLAR 4
TENSIÓN EN CIRCUITO ABIERTO (V)				
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (mA)				

Tabla 2

	CÉLULA SOLAR 1	CONEXIÓN EN SERIE CÉLULA SOLAR 1+2	CONEXIÓN EN SERIE CÉLULA SOLAR 1+2+3	CONEXIÓN EN SERIE CÉLULA SOLAR 1+2+3+4
TENSIÓN EN CIRCUITO ABIERTO (V)				
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (mA)				

Tabla 3

	SIN SOMBREADO	1/4 SOMBREADO	1/2 SOMBREADO	SOMBREADO TOTAL
TENSIÓN EN CIRCUITO ABIERTO (V)				
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (mA)				

1.4.2. Arreglo fotovoltaico

Es un conjunto de múltiples paneles solares eléctricamente interconectados entre sí, para formar una instalación fotovoltaica mucho más grande (sistema fotovoltaico). La flexibilidad de un arreglo solar, permite que los diseñadores puedan crear sistemas solares capaces de cubrir una amplia variedad de necesidades eléctricas, no importando cuán grandes o pequeñas sean. Mientras mayor sea la superficie del arreglo, mayor será la electricidad que producirá. Por ejemplo, puede consistir en unos pocos paneles solares interconectados en un techo de vivienda, como en la unión de cientos de módulos solares interconectados en un campo fotovoltaico para entregar energía a una ciudad.

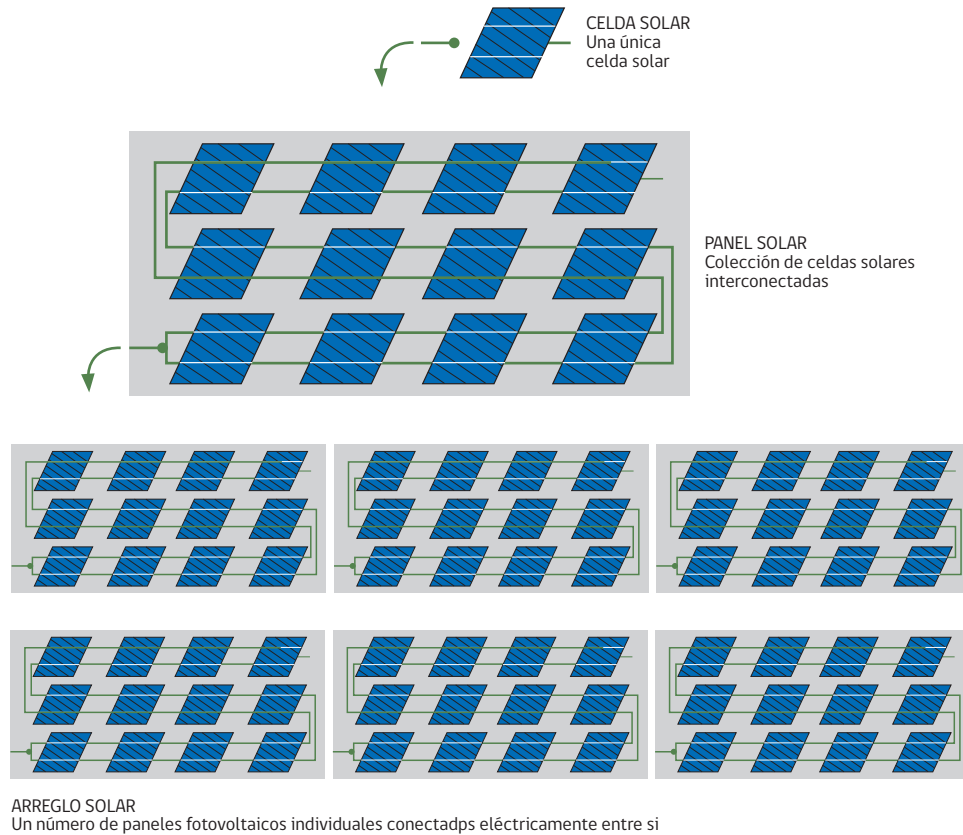


ILUSTRACIÓN 27: ESQUEMA DE RELACIONES ENTRE CELDAS, PANEL SOLAR Y ARREGLO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

En general, los fabricantes producen paneles solares fotovoltaicos estándar con un voltaje de salida de 12, 24 o más Volts. Los paneles en un arreglo solar pueden estar conectados eléctricamente en una serie, paralelo, o una mezcla de ambos, pero generalmente, se escoge una conexión serie para incrementar el voltaje de salida. Por ejemplo, cuando se conectan dos paneles fotovoltaicos en serie, su voltaje aumenta al doble, mientras se mantiene la corriente.

A CONSIDERAR

No se recomienda mezclar módulos fotovoltaicos de diferentes fabricantes en un arreglo, incluso si sus potencias, voltajes y corrientes nominales son similares. Esto, debido a que las diferencias entre las curvas I-V características de los paneles, así como a sus diferentes respuestas espectrales puede causar pérdidas en el arreglo, lo cual afectaría su eficiencia.

1.4.2.1. Características eléctricas de un arreglo fotovoltaico

Las características eléctricas de un arreglo fotovoltaico están resumidas en la relación entre la corriente y el voltaje de salida. La cantidad e intensidad de la radiación solar (irradiancia) controla la cantidad de corriente de salida (I), y la temperatura operacional de las celdas afecta el voltaje de salida (V) del arreglo fotovoltaico. Las curvas (I-V) del panel fotovoltaico que resumen la relación entre corriente y voltaje están dadas por los fabricantes a través de los siguientes parámetros del arreglo solar:

- **VOC:** Voltaje de circuito abierto: voltaje máximo que el arreglo podrá entregar cuando los terminales no se encuentren conectados a ninguna carga (condición de circuito abierto). Este valor es mucho más alto que el V_{max} , el cual se relaciona con la operación del arreglo fotovoltaico cuando está fijo por la carga. Este valor depende del número de paneles conectados en serie.
- **ISC:** Corriente de cortocircuito: es la máxima corriente proporcionada por el arreglo fotovoltaico cuando los conectores de salida se conectan entre sí (condición de cortocircuito). Este valor es un poco mayor a la I_{max} relacionada a la corriente de operación del circuito.
- **Pmax:** Punto de máxima potencia: esto indica el punto donde la potencia suministrada por el arreglo solar que está conectado a las cargas (baterías, inversores) llega a su máximo valor, donde $P_{max} = I_{max} \times V_{max}$. El punto de máxima potencia de un arreglo fotovoltaico se mide en Watts peak (Wp).
- **FF (Fill Factor):** el fill factor es la relación entre la máxima potencia del arreglo que puede suministrar bajo condiciones de operación nominal y el producto del voltaje de circuito abierto por la corriente de cortocircuito ($VOC \times ISC$). Este valor del fill factor nos da una idea de la calidad del arreglo y mientras este factor sea más cercano a 1, mayor será la cantidad de potencia que podrá suministrar. Los valores típicos se encuentran entre 0.7 y 0.8.
- **% eff (porcentaje de eficiencia):** la eficiencia de un arreglo fotovoltaico es la razón entre la potencia eléctrica máxima que el arreglo puede producir y la cantidad de irradiancia solar diaria. La eficiencia de un arreglo solar típico es normalmente bajo (10-12%), dependiendo del tipo de celda (monocristalina, policristalina, amorfa o de capa fina) que se esté utilizando.

Las curvas características I-V proporcionan información que los diseñadores requieren para la configuración de los sistemas, para que puedan operar lo más cercano posible al punto de máxima potencia. El punto de potencia peak se mide cuando el módulo fotovoltaico produce la máxima cantidad de potencia expuesto a una radiación solar equivalente a 1.000 W/m^2 .

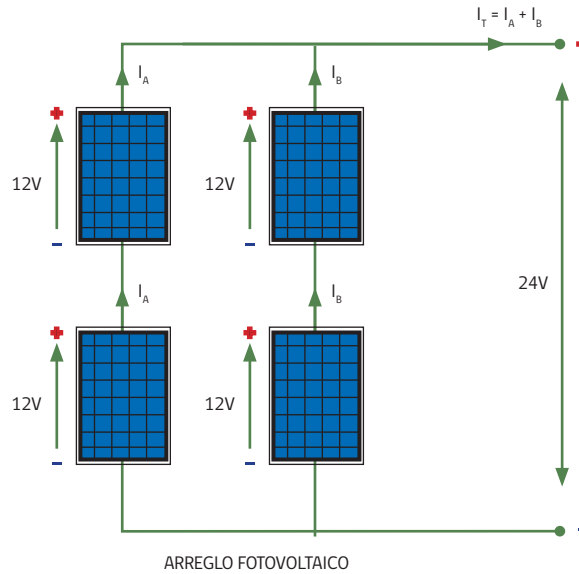


ILUSTRACIÓN 28: EJEMPLO DE ARREGLO FOTOVOLTAICO DE 4 MÓDULOS

Fuente: Elaboración propia, 2018

El arreglo fotovoltaico mostrado consiste en cuatro módulos fotovoltaicos, con dos strings de dos paneles cada uno, conectados en serie. El voltaje de salida desde el arreglo será igual a la conexión serie de los paneles, y en nuestro ejemplo, esto se calcula como: $V_{out} = 12V + 12V = 24V$

La corriente de salida será igual a la suma de las corrientes de los strings en paralelo. Si asumimos que cada panel produce 3.75 A a plena radiación, la corriente total (I_T) será igual a $I_T = 3.75 A + 3.75 A = 7.5 A$. Luego, la potencia máxima del arreglo fotovoltaico será: $P_{out} = V \times I = 24 \times 7.5 = 180 W$

El arreglo solar alcanza su máximo de 180 W a pleno sol debido a que la salida máxima de cada panel es equivalente a 45 W (12V x 3.75A). Sin embargo, debido a los niveles diferentes de radiación solar, efecto de la temperatura, pérdidas eléctricas, etc., la potencia de salida máxima real es usualmente algo menor que la calculada de 180 W.

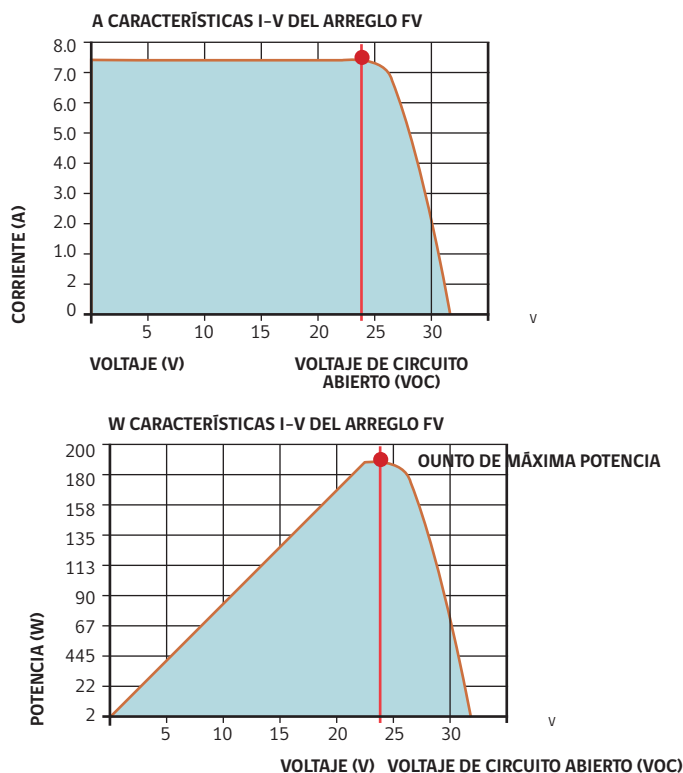


ILUSTRACIÓN 29: GRÁFICOS DE CORRIENTE Y POTENCIA SOBRE VOLTAJE

Fuente: Elaboración propia, 2018

1.5. EFECTOS DE LAS SOMBRAS E INCLINACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

1.5.1. Efectos del sombreado de celdas

Las sombras pueden afectar la potencia de salida de los sistemas fotovoltaicos, dado que éstos generan electricidad de acuerdo a la cantidad de luz solar (irradiancia) que reciben. Por ello, en la etapa de diseño, se debe evitar la presencia de sombras (por árboles, edificios, murallas, otros paneles, etc.), tomando resguardos para minimizar el impacto de éstas.

Es importante considerar que la disminución de potencia no es proporcional al área afectada por la sombra, si no que tiende a ser mayor. Por ejemplo, en el caso de un pequeño panel de 36 celdas en serie, al sombrear sólo una de ellas, la potencia de salida del panel se puede reducir en un 75%.

Esto se debe a que cuando una celda está sombreada, la corriente a través de toda la conexión de celdas se restringe, bajando al nivel de la celda afectada. En el caso de conexión en serie, cada celda tiene que operar a la corriente impuesta por la celda sombreada. De este modo, cualquier sombra puede afectar de forma importante la potencia de salida total del panel solar.



REFLEXIÓN

- Para conceptualizar el por qué las sombras generan pérdidas tan severas en la potencia de salida, es útil utilizar la analogía del agua en una tubería. El flujo de agua a través de la tubería es constante, muy parecido a la corriente a través de celdas en serie para un cierto nivel de irradiancia.
- Si sombreamos una celda, esto es similar a poner un tapón en el interior de una tubería de agua. El tapón restringe el flujo de agua a través de toda la tubería. En forma similar, cuando una celda está sombreada, la corriente a través de toda la conexión de celdas se restringe.
- Esto es signficante porque cada celda de la conexión serie tiene que operar al nivel de la corriente impuesta por la celda sombreada. Así, basta sólo una pequeña sombra para que se tenga un efecto dramático en la potencia de salida total del panel solar.

Por ejemplo, en el caso de una planta solar con módulos conectados en serie, la corriente que fluye a través de todo un string de módulos puede verse reducida con tan sólo un panel que esté sombreado, llevando a una pérdida importante de potencia de salida.

Para reducir las pérdidas por sombreado, se pueden diseñar diferentes soluciones, tal como arreglos de strings y diodos de by pass.

Por ejemplo, si los módulos conectados en serie forman un string y los strings están conectados en paralelo a un inversor, un módulo sombreado en un string no va a afectar la potencia de salida de otro string en paralelo (ver ilustración 12). Así, si se agrupan los módulos sombreados en un solo string separados del resto, la potencia total de salida del arreglo fotovoltaico puede maximizarse.

Por otro lado, los diodos de by pass son dispositivos que se encuentran dentro de un módulo y que actúan como desviaciones (camino alternativo) de la corriente para que no pase por zonas sombreadas. Al utilizarlos, la corriente más alta del string podrá fluir alrededor de la o las celdas sombreadas. Sin embargo, esto significa que perderemos la potencia de salida de las celdas que estamos evitando con el by pass.

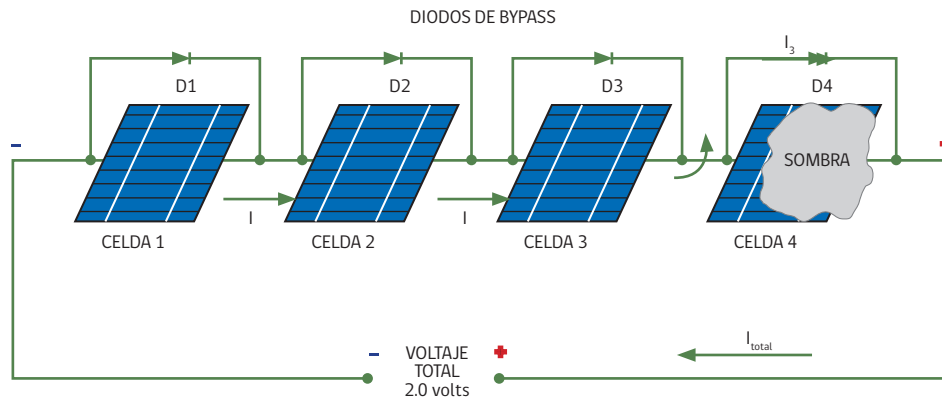


ILUSTRACIÓN 30: MÓDULO CONECTADOS EN SERIE Y EN PARALELO AL INVERSOR

Fuente: Elaboración propia, 2018

En general, por temas de costo, se suele instalar tres diodos de by pass en un panel típico, agrupando las celdas en tres series. Por ejemplo, un módulo de 60 celdas tendrá típicamente un diodo de by pass por cada 20 celdas.

ACTIVIDAD 13

Efecto de las sombras sobre las celdas solares



1. Forme un equipo de trabajo de acuerdo a las instrucciones entregadas por el docente.
2. Discuta cuáles pueden ser las causas más probables del sombreado sobre los módulos fotovoltaicos.
3. Sintetice el efecto del sombreado sobre los módulos fotovoltaicos.
4. ¿El sombreado afecta la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos proporcionalmente al número de paneles afectados?
5. Redacte tres ejemplos de medidas que se pueden aplicar para disminuir el efecto de las sombras sobre un panel solar.
6. Los resultados de esta actividad deberán ser expuestos en una presentación a realizar en la clase siguiente.

La siguiente actividad práctica se realiza utilizando el maletín de fundamentos, con el fin de realizar mediciones que corroboren las afirmaciones realizadas en el enunciado que relaciona el voltaje y corriente de corto circuito con diferentes condiciones de sombra.

ACTIVIDAD 14

Efecto de las sombras sobre las celdas solares, ejercicio práctico

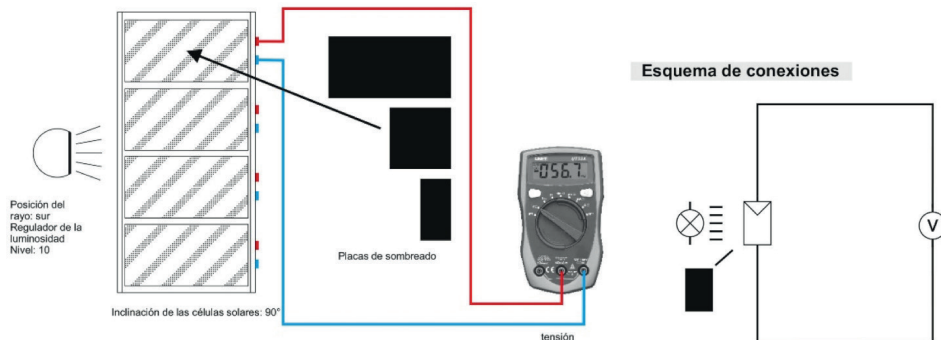


ILUSTRACIÓN 31: ESQUEMA DE ESTRUCTURA Y CONEXIONES

Fuente: Payelec, Manual Solartrainer, 2017

Construya el experimento de acuerdo con la representación mostrada más arriba.

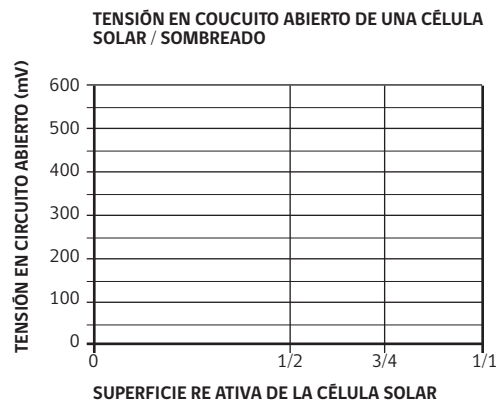
- El brazo de la lámpara se encuentra en la posición Sur, el regulador de la luminosidad en el nivel 10.
- El interruptor de selección de rango del multímetro como voltímetro debe ajustarse a la posición V DC (1 V = 1000 mV).
- Cubra completamente la célula solar con la placa de sombreado 1/1 (coloque el regulador en 0 provisionalmente para este sombreado), mida la tensión en circuito abierto e introduzca el valor en la tabla 1.
- Continúe con la posición 10 del regulador, con la mitad cubierta, con 1/4 cubierto y uno sin cubrir y mida la tensión en cada caso. Introduzca los valores medidos en la tabla y una los puntos de las mediciones con líneas.

A: ¿Qué conocimiento se obtiene de la medición?

Tabla 1

SUPERFICIE IRRADIADA DE LA CÉLULA SOLAR	0	1/2	1/4	1/1
TENSIÓN EN CIUCUITO ABIERTO [mV]				

Gráfico 1



A:

1.5.2. Orientación e Inclinación de los módulos fotovoltaicos

Así como el sol se mueve a través del cielo (ángulo de acimut), también lo hace hacia arriba y abajo (ángulo de inclinación o zenit solar) a través del año, por lo cual para aprovechar de mejor manera el recurso solar sería ideal que la instalación del panel solar siguiera el recorrido del sol.

Los conceptos básicos son los siguientes:

Ángulo de orientación (acimut α): Ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar.

Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste.

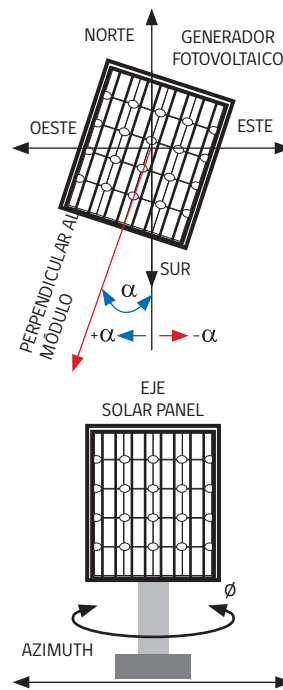


ILUSTRACIÓN 32: ESQUEMAS DE ÁNGULO ACIMUT

Fuente: Elaboración propia, 2018

Para determinar la orientación de los paneles se debe considerar el ángulo acimut, que describe el sol cuando se mueve a través del cielo de Este a Oeste en el transcurso de un día.

Generalmente, para el hemisferio sur el acimut es calculado como un ángulo tomado desde el norte verdadero. En el mediodía, el sol estará directamente sobre el norte por lo cual el valor del acimut será igual a 0° .

Los ángulos de acimut hacia el Este son negativos, llegando a los (-90°) en el este, mientras que los ángulos hacia el oeste son positivos, llegando a los $(+90^\circ)$ en el oeste.

Ángulo de inclinación (CÉNIT SOLAR β): Ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales.

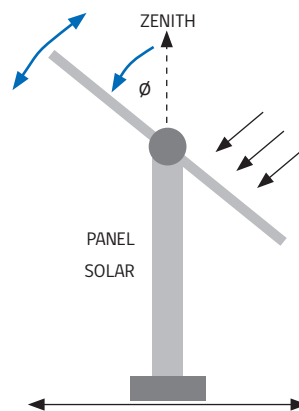
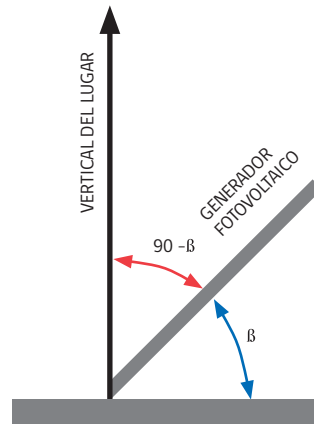


ILUSTRACIÓN 33: ESQUEMAS DE ÁNGULO DE INCLINACIÓN

Fuente: Elaboración propia, 2018

Para determinar el ángulo de los paneles debe considerarse el cénit o elevación (inclinación), que corresponde al ángulo del sol que se obtiene al mirarlo directamente desde el nivel del suelo o el horizonte. Este varía a través del día en forma de un arco, es definida como cero al amanecer y 90° al mediodía cuando el sol está directamente sobre nuestras cabezas.

En invierno, el sol está más bajo por lo cual la inclinación de los paneles solares necesita ser más vertical; en cambio, durante el verano el sol está alto en el cielo, por lo que la inclinación del panel es más horizontal. Finalmente, la elevación del sol al mediodía es diferente entre el solsticio de verano (21 de diciembre) y el solsticio de invierno (21 de junio), representando el día más largo y más corto del año, respectivamente.

RECUERDA

Tanto la elevación solar (zenit), como la orientación (acimut) pueden ser dibujadas en una carta solar.

Esta permite localizar la posición del sol en cualquier hora del día, durante cualquier mes y en cualquier locación, haciendo que la ubicación de un panel solar sea más sencilla y óptima.

Aunque hay generadores fotovoltaicos que son capaces de seguir la trayectoria solar, lo habitual es que la superficie del generador sea de orientación fija, mientras que el sol varía su posición en el cielo constantemente desde la mañana hasta la noche, haciendo que la correcta orientación este definida en función a la mayor cantidad de horas de luz solar, intensidad y radiación que el panel pueda recibir.

La orientación optima será un valor contante, con una inclinación (β) que va a depender de la latitud del lugar y un acimut (α) que depende del hemisferio en el que esté situado el generador.

DATO

Seguidor Solar (Tracker)

Es un equipo con un sistema de seguimiento, que busca dar la mejor orientación e inclinación posibles al panel, permitiendo un incremento de entre un 25 - 30% más de energía captada que para una instalación del tipo fija y entre un 33 - 38% en el caso de los seguidores duales o de doble eje. Esto permite reducir la cantidad de paneles solares necesarios, al incrementar la eficiencia de la conversión energética.

Sin embargo, esos sistemas de rastreo pueden ser demasiado grandes, poco prácticos y costosos para la mayoría de las instalaciones, siendo recomendados para montaje sobre suelo (no sobre techo).

RECOMENDACIONES GENERALES PARA INSTALACIONES EN CHILE

En el caso de una instalación solar fija, es recomendable que los paneles solares sean instalados considerando:

- Orientación Norte. Desviación recomendada Max. 45° Oeste y Este.
- Inclinación recomendadas 15° y 40° (óptimo la latitud donde se ubica la instalación, ejemplo: Santiago 33° inclinación recomendada 30°). Lo mejor es respetar la pendiente del techo.

El sistema debería ser instalado con la orientación e inclinación para que tenga la máxima producción en invierno.

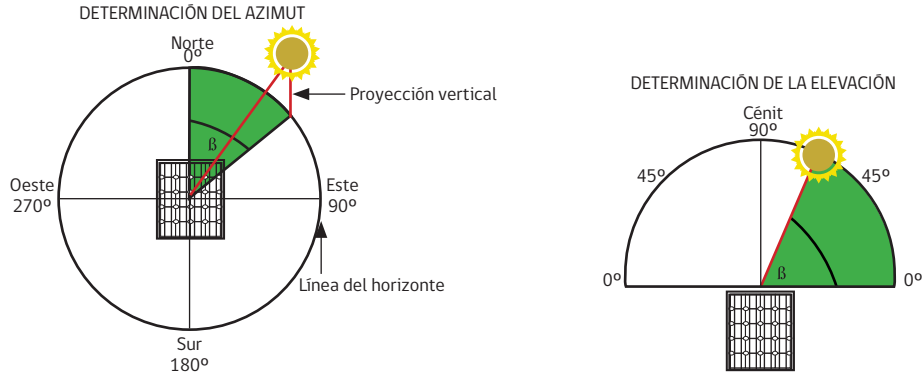


ILUSTRACIÓN 34: ESQUEMAS DE ÁNGULOS DE ACIMUT Y ELEVACIÓN

Fuente: Elaboración propia, 2018

ACTIVIDAD 15

Analizar el efecto de la orientación y la inclinación sobre las celdas fotovoltaicas



De acuerdo a los contenidos expuestos:

1. Discuta, ¿cuál debería ser el ángulo de inclinación óptimo de una instalación fotovoltaica en su localidad?
2. ¿Cuál es la orientación óptima de una instalación fotovoltaica?
3. ¿A qué corresponde el acimut en una instalación fotovoltaica? Sintetice el concepto.
4. ¿Existen ventajas en la utilización de un sistema de seguimiento solar?, ¿cuáles serían sus posibles desventajas? Justifique sus respuestas.

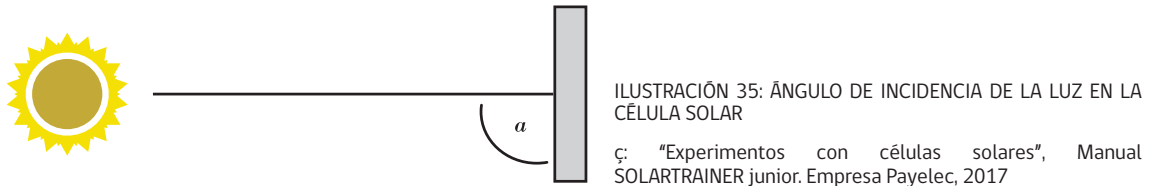
La siguiente actividad tiene como propósito reforzar la comprensión del contenido teórica de la actividad anterior pero de forma práctica utilizando el maletín de fundamentos.

RECUERDA

El ángulo de incidencia de la luz solar en relación con la tierra cambia según el momento del día y la estación.

Así, por ejemplo, los rayos de sol inciden sobre una célula solar fija con un ángulo por la mañana y otro a mediodía.

¿Qué relación existe entre el ángulo de incidencia de la luz en la célula solar y la intensidad de la corriente de cortocircuito?



ACTIVIDAD 16

Análisis del efecto de la orientación sobre las celdas fotovoltaicas a partir de las mediciones realizadas con el maletín de fundamento



Utilizando el Maletín de fundamentos, realice las siguientes actividades de acuerdo a la siguiente representación:

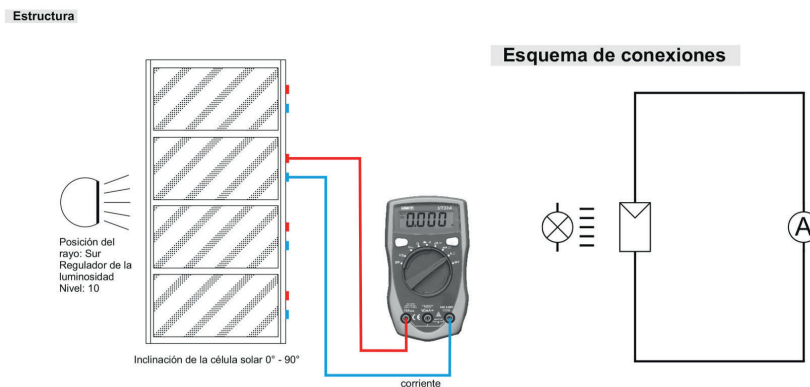


ILUSTRACIÓN 36: ESQUEMA DE ESTRUCTURA Y CONEXIONES EFECTO ORIENTACIÓN

Fuente: Payelec, Manual Solartrainer, 2017

Construya el experimento de acuerdo con la ilustración 36.

- Conecte el multímetro como amperímetro según la representación, el interruptor de selección de rango debe ajustarse a la posición A DC.
- El brazo de la lámpara se encuentra en posición Sur, el regulador de la luminosidad en el nivel 10.
- En primer lugar, ajuste la carcasa de la célula solar a la posición de 90°, mida la corriente de cortocircuito e introduzca los valores en la tabla 1.
- A continuación, gire la carcasa de la célula solar en pasos de 15°- hasta la posición 0° y guarde todos los valores en la tabla.
- Introduzca los valores en el gráfico 1 en el diagrama y una los puntos de medición con líneas.
- Diseñe una breve presentación de sus resultados.

A: ¿Qué relaciones se derivan de entre el ángulo de irradiación de la luz en la célula solar y la intensidad de la corriente de cortocircuito?

Tabla 1

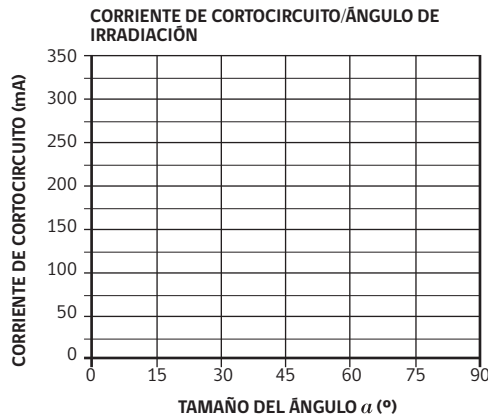
Determine la corriente de corto circuito en los siguientes ángulos:

TAMAÑO DEL ÁNGULO α (°)	90	75	60	45	30	15	0
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (mA)							

Gráfico 1

Dibuje la curva de corriente de cortocircuito versus cada uno de los ángulos.

¿Qué sucede con la corriente?



A:

1.6. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.6.1. Inversores

En los sistemas conectados a la red (On Grid), en donde el sistema fotovoltaico funciona en paralelo con la red eléctrica, el inversor requerido utiliza voltajes mucho más elevados que los que utiliza un inversor para sistemas aislados. Típicamente, un inversor On Grid tendrá voltajes de entrada de paneles de entre 600 a 1.000 V.

Después de los paneles mismos, los inversores son la parte más importante de un sistema fotovoltaico conectado a la red y, por lo tanto, el rango de potencia CC de entrada del inversor debe ser similar al del arreglo fotovoltaico. Generalmente, los inversores son seleccionados para un sistema solar particular basados en la carga máxima, voltaje CA de salida requerido y cualquier otra característica opcional necesaria. El tamaño de un inversor es medido por su salida máxima continua en Watts.

En el caso de un sistema aislado (Off Grid) basado en baterías, el inversor se encarga de transformar el voltaje de 12, 24 o 48 Voltios del banco de baterías, al voltaje de la vivienda de 220 Voltios, que corresponde al voltaje en el cual funcionan la mayoría de los aparatos eléctricos de Chile.

En el caso de que la instalación solo requiera de poca iluminación y poco recorrido de cableado, se podrá realizar una instalación sin inversor, es decir, utilizando corriente continua, contactando directamente desde la batería. De este modo, todo el circuito funcionará a 12V, permitiendo el uso de lámparas y aparatos de 12V.

Existen distintos tipos de inversores, de acuerdo a su funcionamiento o aplicación, y por el tipo de carga que necesita alimentar (tipo de onda que producen).

- De acuerdo al funcionamiento, dependiendo de la función del sistema fotovoltaico:
 - Inversores conectados a la red.
 - Inversores conectados a la red con respaldo de baterías.
 - Inversores para sistemas independientes de la red.
- De acuerdo al tipo de carga que necesita alimentar, dependiendo básicamente del tipo de onda que requiere la sensibilidad del equipo a alimentar:
 - Inversores de Onda cuadrada: Económicos, pero sólo aplicables a cargas pequeñas. No se recomienda su uso en sistemas residenciales.
 - Inversores de Onda cuadrada modificada: Permiten parcialmente la operación de equipos electrónicos.
 - Inversores de Onda senoidal: Son los de mayor uso en aplicaciones residenciales. Permiten la operación de uno o más equipos electrónicos utilizando dispositivos de protección.

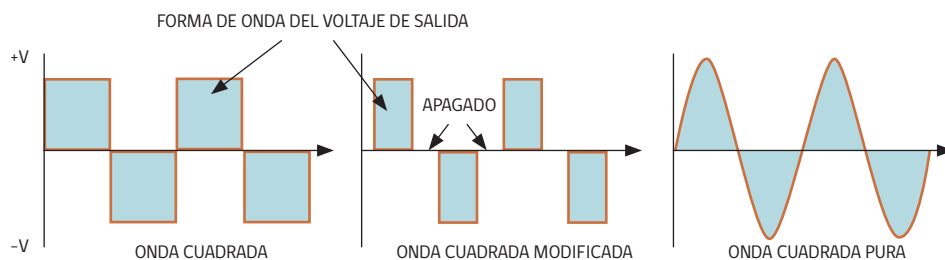


ILUSTRACIÓN 37: TIPOS DE ONDA DE VOLTAJE QUE PRODUCEN LOS INVERSORES

Fuente: Elaboración propia, 2018

Actualmente, en general los inversores presentan valores de eficiencia del orden del 0,9. Este valor nos indica que el 90% de la corriente directa entregada por los paneles es convertida en corriente alterna. Otro aspecto para medir la eficiencia de un inversor es su comportamiento a baja potencia, ya que a las pérdidas de potencia del sistema se le deben sumar la potencia requerida por el inversor para realizar su función.

1.6.2. Inversores para sistemas independientes de la red (Off Grid)

Convierten la corriente directa acumulada en el banco de baterías en corriente alterna convencional, como la que se obtiene de la red eléctrica. Estos inversores están diseñados para su instalación y operación en lugares donde no hay acceso a la red de distribución eléctrica, utilizando como fuentes alternas la energía proveniente del sol (solar) o la de los vientos (eólica) para cargar las baterías. Así, el inversor toma la energía de las baterías y la convierte para que se puedan utilizar en usos típicos como encender una lámpara, conectar un televisor, un refrigerador o cualquier electrodoméstico convencional.

Los inversores aislados (con baterías) necesitan elevar la tensión de la batería de 12V, 24V, 48V de corriente continua hasta los 220V en corriente alterna, por eso para baterías de 12V los inversores normalmente no pasan de los 1200W de potencia, de 24V suelen llegar a 4000W y los de 48V hasta los 8000W.

Este tipo de equipos no requieren autorización SEC para su uso, pero se recomienda que su eficiencia sea superior al 96% y que posean certificaciones de seguridad, como la IEC 62109, referida a los requerimientos mínimos de diseño y la fabricación de equipos para evitar choques eléctricos, peligro de incendio, mecánicos u otros.

1.6.3. Inversores para conexión a red (On Grid)

Como las celdas solares fotovoltaicas producen potencia en corriente continua (CC), si se requiere que un sistema solar fotovoltaico sea conectado a la red o que alimente cargas en corriente alterna (CA), es imprescindible contar con un equipo que realice la conversión de corriente continua a alterna. Para ello, se utilizan los inversores.

Los inversores solares para conexión a red sincronizan la electricidad que producen, con el mismo voltaje y frecuencia que viene desde la red, permitiendo que el sistema inyecte directamente en ella, usualmente a través de un medidor bidireccional. La mayoría de los inversores de conexión a red están diseñados para operar sin el respaldo de baterías. En Chile, la comercialización y utilización de los inversores conectados a la red u On Grid, requieren de la autorización de la SEC, pues deben contar con el perfil de red chileno, en donde se indican los valores de tensión y frecuencia en los cuales deben trabajar estos equipos para cumplir con la normativa eléctrica vigente.

Ya que la potencia disponible del generador fotovoltaico varía con la irradiancia y la temperatura de trabajo de las celdas solares que lo componen, el inversor deberá extraer la máxima potencia posible del generador fotovoltaico. Esto se consigue con un dispositivo que está incorporado en estos equipos, denominado "seguidor del punto de máxima potencia" (Maximum Power Point Tracker - MPPT), dispositivo electrónico incorporado en el inversor y que varía cada determinado tiempo la tensión de entrada del inversor (o tensión de salida del arreglo fotovoltaico) hasta que el producto $V \times I$ de salida (potencia de salida) del generador fotovoltaico se hace máximo.

Los inversores de conexión a red están disponibles en capacidades desde unos pocos cientos de Watts, para alimentar luces, computadores y pequeñas cargas, hasta cientos de kilowatts, para abastecer sistemas solares residenciales, comerciales e industriales. Estos inversores están diseñados para apagarse automáticamente cuando no existe red pública por motivos de seguridad.

Existen distintas configuraciones de inversores, las cuales se ejemplifican a continuación.

1.6.3.1. Configuración de inversor central

En este caso, varios strings de un arreglo fotovoltaico son conectados juntos en paralelo a través de la junction box.

La junction box debe contar con los siguientes elementos:

- Seccionador bajo carga, indicando claramente y de manera indeleble la posición abierto o cerrado. Este seccionador debe poder operarse desde el exterior de la caja o que la junction box posea una contratapa, con el fin de que no exista riesgo de contacto para las personas con partes con tensión.
- Descargadores de sobretensión tipo 2
- Fusibles o interruptores automáticos en CC para los polos negativos, por cada string
- Bornes de conexión en CC para línea colectora hacia el inversor
- Borne de conexión para conductor de puesta a tierra

La junction box debe ser resistente a la radiación UV, tener un IP 65, o mínimo IP 54 cuando se instale bajo techo y debe ser instalada lo más cercano posible del arreglo fotovoltaico.

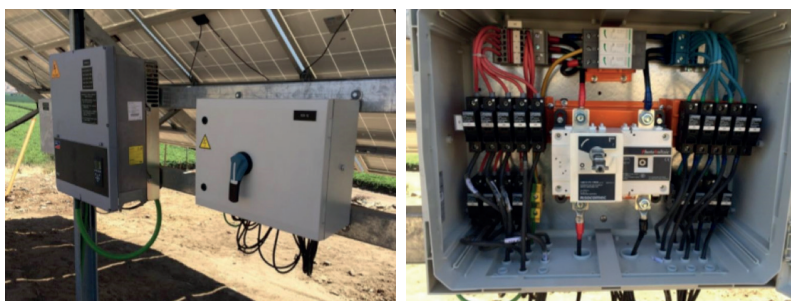


ILUSTRACIÓN 38: FOTOGRAFÍAS DE JUNCTION BOX

Fuente: SEC, 2017

La salida completa del arreglo es convertida a potencia CA a través de un único inversor central y que luego entrega su energía a los consumos y/o a la red. Este inversor presenta un voltaje y corriente de entrada CC que puede llegar a ser bastante grande, dependiendo de la configuración del arreglo.

Este tipo de configuración entrega una buena eficiencia, bajo costo, una confiabilidad promedio, ya que los paneles fotovoltaicos dentro del arreglo están igualados en capacidad y número, el seguidor del punto de máxima potencia (MPPT: Maximum Power Point Tracker) seleccionado por el inversor para todo el arreglo, asegura que todos los paneles operen en o cercanos a su salida de potencia máxima.

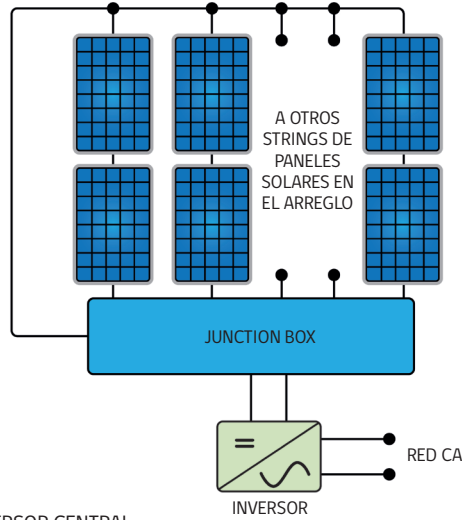


ILUSTRACIÓN 39: CONFIGURACIÓN DE INVERSOR CENTRAL

Fuente: Elaboración propia, 2018

1.6.3.2. Configuración de inversor String

A un inversor string pueden ingresar desde 1 string a más de 4 string. En este caso, cada inversor puede tener un número diferente de ingresos de string para diferentes tipos de paneles, posiciones, orientaciones o sufrir de sombreados totales o parciales. El resultado es que cada inversor producirá una salida de potencia diferente, relativa al string al cual esté conectado. Si consideramos un inversor con una sola entrada para un string, nos aseguraremos que el MPPT del equipo siempre encuentre el punto de máxima potencia del arreglo. Ahora, si pensamos en un inversor que tiene dos entradas para dos strings y un solo MPPT, deberemos tener cuidado en que los strings sean iguales entre sí, tanto en número de paneles y modelo, como en su orientación e inclinación, ya que el MPPT buscará el punto de máxima potencia del arreglo completo. En el caso que tengamos una instalación con más de un string, existen inversores que incluyen dos o más MPPT, lo que contribuye a aumentar la eficiencia completa del sistema, ya que cada MPPT maximizará la potencia de los strings conectados a él.

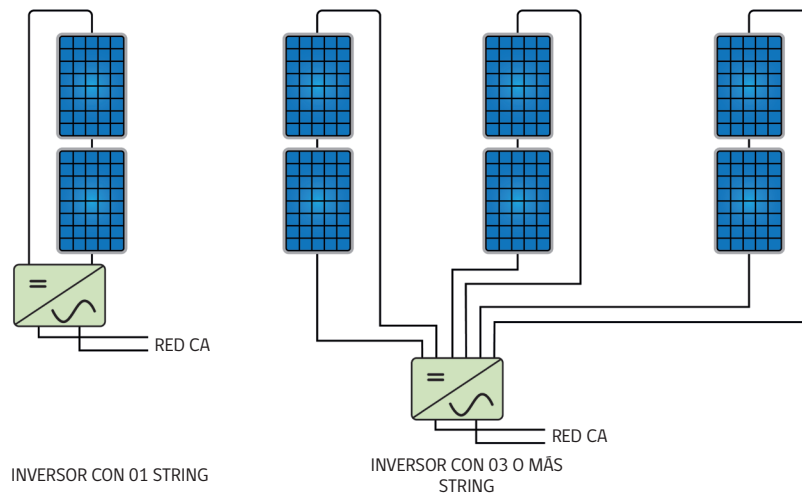


ILUSTRACIÓN 40: CONFIGURACIÓN DE INVERSOR STRING

Fuente: Elaboración propia, 2018

Dado que el arreglo no puede ser caracterizado eficientemente por un único Punto de Máxima Potencia (MPP), cada inversor operará a un punto de máxima potencia diferente del resto. La principal ventaja de este tipo de configuración es que cada string puede estar en una ubicación o posición diferente (siempre que ese string en el cual todos los módulos fotovoltaicos están orientados en una dirección, **ingresan a un tracker MPPT diferente del string** en el cual todos los módulos están orientados en una dirección distinta) y no todos juntos en un simple arreglo.

1.6.3.3. Configuración de Microinversores

En esta configuración, cada panel lleva incorporado su propio microinversor, aunque hoy en día se pueden incorporar más de un panel a un microinversor. Esto habilita al microinversor para seleccionar el punto de máxima potencia óptimo para el panel, dando una excelente eficiencia, pero a un costo más alto por kWp en proyectos de poca potencia. Es el más seguro y eficiente de las tipologías de inversores, ya que su bajo voltaje en corriente continua hace muy segura su instalación y el instalador prácticamente trabaja la conexión en corriente alterna.

Otra de las ventajas de la utilización de los microinversores es la rápida ampliación de las instalaciones y la sencillez de las conexiones.

Un creciente número de fabricantes de paneles solares están ofreciendo paneles individuales con su propio microinversor, haciendo que cada panel sea una fuente de potencia CA que puede ser conectada directamente a la red pública.

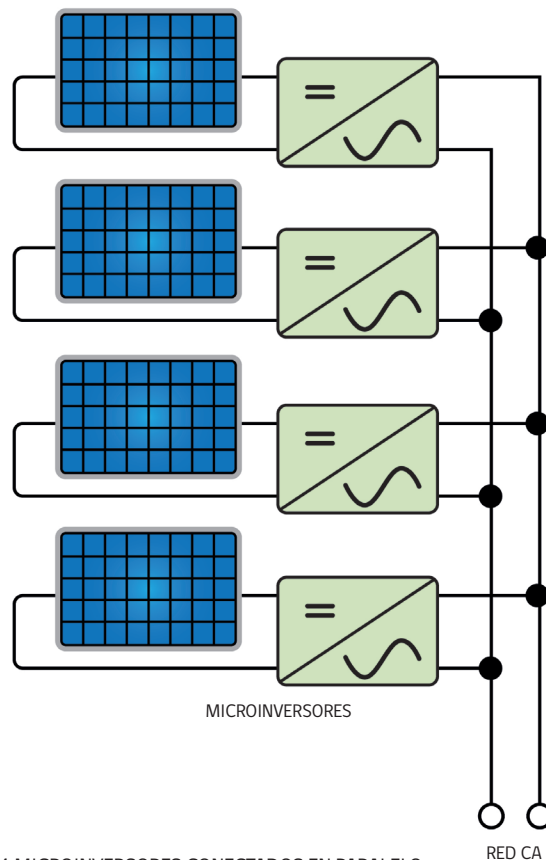


ILUSTRACIÓN 41: CONFIGURACIÓN DE 4 MICROINVERSORES CONECTADOS EN PARALELO

Fuente: Elaboración propia, 2018

ACTIVIDAD 17

Tipos de inversores y su uso



Analice las situaciones teóricas y recomiende el tipo de inversor que se debe instalar para cada caso. Justifique su respuesta.

Situación A:

Un agricultor localizado en la zona de Curacaví necesita energía eléctrica económica para hacer funcionar sus bombas de riego para sus cultivos. Para ello, decide instalar un sistema fotovoltaico. Las bombas de riego serán utilizadas solo en los meses de verano. Durante los meses de invierno, que no utilizará el sistema de bombeo, la energía que genere el sistema fotovoltaico será inyectada a la red pública de electricidad (red de distribución).

Situación B:

Una persona tiene una estación de radio en la precordillera y no tiene acceso a la red pública de electricidad. Decide instalar un sistema fotovoltaico para proveerse de energía.

1.6.4. Baterías

En los sistemas fotovoltaicos aislados (Off Grid), se requiere almacenar la energía eléctrica producida por los paneles solares que no será inmediatamente consumida por las cargas. Para ello, se requiere de una o un grupo de baterías de ciclo profundo llamado "banco de baterías". Así, los paneles cargan estas baterías de ciclo profundo durante las horas de sol, para que ésta electricidad sea utilizada en la noche o durante los días muy nublados.

Entonces, las baterías son una parte esencial de una instalación solar aislada y definen el voltaje de operación CC (corriente continua) de todo el sistema solar fotovoltaico.

Las baterías de ciclo profundo consisten en una colección de pequeñas celdas individuales de 2V que almacenan la energía eléctrica producida. Estas celdas permiten que la energía eléctrica sea convertida en energía química, almacenada dentro de la celda, la cual es luego convertida nuevamente en energía eléctrica a medida que se necesite. Una batería consiste en una o más de estas celdas, conectadas eléctricamente en serie o paralelo, o en ambas, dependiendo de la salida de voltaje y corriente requeridos.

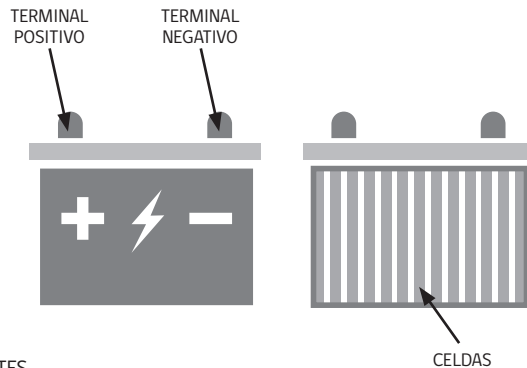


ILUSTRACIÓN 42: BATERÍAS Y SUS COMPONENTES

Fuente: Elaboración propia, 2018

Una de las características de las baterías de ciclo profundo es que la reacción química que produce y almacena la energía eléctrica entre sus placas es completamente reversible, opuesto a otras baterías, las cuales solo pueden ser utilizadas una vez.

Existen distintos tipos de baterías, para diferentes aplicaciones. Si bien las baterías de ciclo profundo usadas en los sistemas solares son similares a las utilizadas en los automóviles, están diseñadas especialmente para el tipo de ciclos de carga y descarga que necesitan soportar. Las baterías más comunes utilizadas en las aplicaciones solares fotovoltaicas son las de plomo ácido de libre mantenimiento, ya que es el tipo más económico para el almacenamiento de energía.

Otro tipo de batería que tiene excelentes prestaciones en los sistemas fotovoltaicos son las baterías de ión litio. Si bien, en la actualidad, su costo es mucho mayor que las de plomo ácido, presentan ventajas importantes respecto de estas últimas: poseen mayor densidad de energía acumulada por kg que una de plomo ácido (115 Wh/kg versus 30 Wh/kg para la de plomo ácido), no son contaminantes en exceso como las de plomo ácido y especialmente, al tener una mayor cantidad de densidad de energía, el tamaño del banco que se puede utilizar se reduce enormemente para la misma capacidad que un banco de baterías de plomo ácido.

RECUERDA

El uso de baterías de libre mantenimiento no implica que podamos descuidar su vigilancia. Algunos aspectos relevantes a considerar son:

- Mantener los terminales de las baterías limpios y libres de corrosión. La corrosión causa resistencia entre las conexiones del banco de baterías y reduce el flujo de electrones a través del banco. Esto puede causar que las baterías no se carguen en forma pareja y se reduce su vida útil.
- Revisar periódicamente los cables de conexión entre las baterías y que los terminales se encuentren bien apretados. En general, se debe considerar que un límite de profundidad de descarga mayor al 50% acelera fuertemente el deterioro de un banco. Es recomendable no superar el 50% de descarga y si es posible, trabajar con porcentajes menores (10% - 30%).
- Tiempo de recambio de una batería estará dado por los ciclos de trabajo informados por el fabricante. Éstos, entregan información acerca de los ciclos de carga y descarga de la batería a distintas profundidades de descarga. Si queremos que nuestra batería tenga una mayor vida útil, entonces deberemos descargarla a menor profundidad.

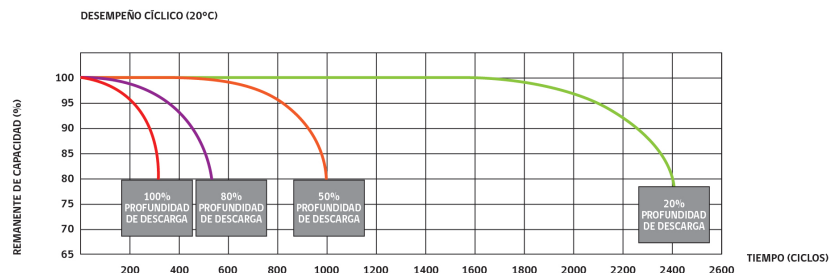


ILUSTRACIÓN 43: GRÁFICO DE CICLOS DE CARGA DE BATERÍAS

Fuente: Elaboración propia, 2018

Las partes fundamentales de las baterías de plomo ácido son: un electrodo negativo, un electrodo positivo y un electrolito. El electrodo negativo, generalmente de color negro, está hecho de plomo (Pb), y el electrodo positivo, de color rojo, está fabricado de dióxido de plomo (PbO₂). Se utiliza un separador para aislar eléctricamente los dos electrodos. El electrolito usado para causar la reacción química entre los dos electrodos es ácido sulfúrico diluido (H₂SO₄), el cual provee los iones de sulfato para las reacciones de descarga.

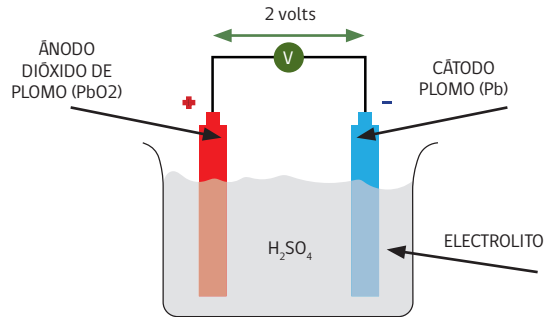


ILUSTRACIÓN 44: ESQUEMA DE BATERÍA PLOMO ÁCIDO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Los parámetros asociados con las baterías de plomo ácido de ciclo profundo son los siguientes:

- **Voltaje:** una batería estándar es de 12 V. Este voltaje es la suma de 6 celdas de plomo más pequeñas conectadas en serie, con lo cual se logran los 12 V de la batería. Cada celda individual tiene un voltaje de alrededor de 2 V. Los bancos de baterías usados en sistemas solares, usualmente son conectados en serie para producir voltajes CC de 12, 24, 36 o 48V.
- **Corriente:** las baterías almacenan potencia como corriente continua (CC). La máxima corriente que pueden entregar las baterías de ciclo profundo, es la más alta corriente que puede manejar una carga sin que caiga significativamente el voltaje en terminales debido a la resistencia interna de las baterías, y sin causar que la batería se sobrecaliente. Las baterías de ciclo profundo se conectan en paralelo para incrementar la corriente de salida.
- **Capacidad:** es la cantidad de energía que contiene una batería y es medida usualmente en Amperes - horas (Ah) a un voltaje dado. Así, una batería con una medida de 1.000 Ah puede entregar 100 A durante 10 horas, o 10 A durante 100 horas, o 1 A durante 1.000 horas, etc. Para determinar la cantidad total de energía que una batería de ciclo profundo puede entregar, se deben multiplicar los Ah por el voltaje en terminales. Así, si tenemos una batería de 12V/100 Ah, esto significa que la batería puede entregar una energía de 1,2 kWh.

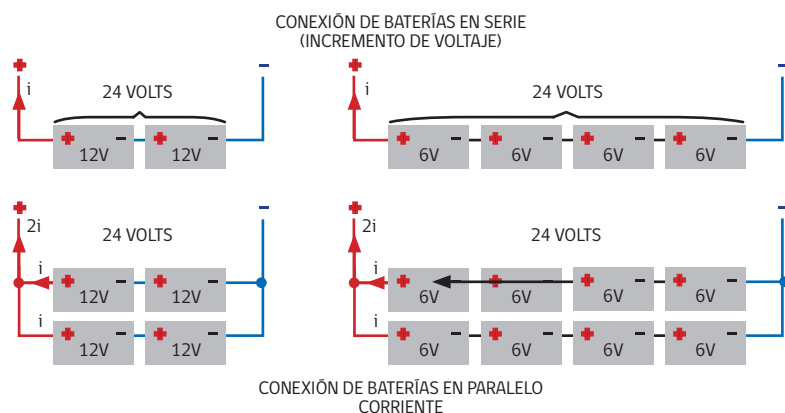


ILUSTRACIÓN 45: ESQUEMA DE CONEXIÓN DE BATERÍAS EN SERIE Y EN PARALELO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Cuando se trabaja con un banco de baterías, debemos recurrir a la norma UNE EN 50272-2 para todos los efectos de diseño, montaje, operación, inspección y mantenimiento.

Entre los puntos más importantes a considerar al utilizar estos equipos están:

- Las baterías emiten gases durante la carga, por lo cual se debe tener presente la ventilación del lugar donde se encuentren. Al igual que evitar colocarlas debajo de inversores o equipos electrónicos.
- Las partes energizadas de los sistemas de baterías de las viviendas deben estar resguardadas para evitar el contacto accidental con personas u objetos, independientemente de la tensión o tipo de batería.
- Para evitar el riesgo de fuego o corrosión, las baterías se deben mantener limpias y secas.
- Los conductores empleados deben soportar la corriente a transportar y deben protegerse tanto a la sobrecarga como al cortocircuito.
- Los cables de baterías deben ser lo más cortos posibles.
- Las conexiones principales de los bornes deberán estar diseñadas para soportar las fuerzas electromagnéticas que se producen en un cortocircuito.
- Los terminales deben apretarse de manera cuidadosa y suficiente para garantizar un mínimo de pérdidas.
- Todas las conexiones de la batería hasta el fusible se deberán realizar de manera tal que no se produzca un cortocircuito en cualquiera de las condiciones posibles.

En cuanto a las protecciones a utilizar, debemos considerar el sistema fotovoltaico como un todo. Si consideramos un sistema FV Off Grid, compuesto por paneles, controlador de carga, baterías e inversor, debemos proteger cada uno de los equipos que componen el sistema.

En general, podemos proteger adecuadamente nuestro sistema instalando fusibles correctamente dimensionados entre cada una de las conexiones que efectuamos. En ese caso, debemos proteger con fusibles la conexión entre los paneles y controlador de carga, controlador de carga y baterías y baterías e inversor. Lo más importante es tener en cuenta que los fusibles a utilizar deben ser para corriente continua.

Para proteger el banco de baterías, debemos instalar un fusible lo más cercano al terminal positivo del banco, en la conexión que va desde las baterías al inversor.

La siguiente actividad tiene como propósito reforzar la comprensión sobre las consideraciones y tipos de conexionado a un banco de baterías.

ACTIVIDAD 18**Tipos de conexionado en un banco de baterías**

1. ¿Cuál es la mínima cantidad de baterías de 6V para armar un banco de 48V? ¿Cómo deberían conectarse, en serie o en paralelo?
2. Con el número de baterías de la pregunta anterior, diseñe un banco en 24 V (debe utilizar todas las baterías).

Presente los resultados utilizando esquemas que presenten las baterías y el tipo de conexión (serie o paralelo).

1.6.5. Controladores de carga

Un controlador de carga, o regulador de carga, es un dispositivo electrónico utilizado en sistemas aislados. Su función es regular las fluctuaciones de voltaje o corriente proveniente del panel solar (debido al ángulo del sol) y lo adapta a las necesidades de la batería que está siendo cargada.

Para ello, se controla el flujo de potencia eléctrica desde la fuente de carga a la batería, a un valor relativamente controlado y constante. Así, se mantiene una carga estable de la batería, estableciendo un equilibrio entre ser sobrecargada por la fuente, o ser descargada por las cargas conectadas.

Entonces, las funciones más importantes de un controlador de carga son las siguientes:

- Previene la sobrecarga de la batería: limita la energía entregada por los paneles solares cuando la batería está completamente cargada.
- Previene la sobredescarga de la batería: automáticamente desconecta la batería desde las cargas eléctricas, cuando la batería llega a un nivel bajo de carga.
- Proporciona funciones de control de carga: conecta y desconecta automáticamente las cargas eléctricas en un tiempo especificado, por ejemplo, al operar una luz desde el atardecer al amanecer.
- Dichas funciones las realiza el controlador de carga mediante un algoritmo de control. Además, suele realizar otras tareas complementarias como:
- Proporcionar información de las tensiones y corriente de carga, descarga, etc., emitiendo señales de alarma cuando se superen los límites de seguridad.
- Conectar y desconectar cargas a determinadas horas, estableciendo un orden de prioridades en los consumos.
- Llevar un control de los consumos y de la recuperación de carga o ser el punto de confluencia de otros subsistemas, que pueden ser protegidos y maniobrados desde el regulador.

La elección de un controlador de carga está definida por: voltaje de trabajo del banco de baterías y por la corriente o potencia del generador fotovoltaico. Existen controladores de carga que reconocen automáticamente el voltaje del banco, pero otros deben ser programados para el voltaje requerido.

La capacidad en corriente del controlador de carga debe escogerse en función de la corriente máxima proveniente del arreglo FV y que pasa a través del controlador.

Es importante la instalación de fusibles entre el arreglo fotovoltaico y el controlador de carga y su capacidad debe ser superior a la corriente nominal.

ACTIVIDAD 19

Cuidado del banco de baterías



1. ¿Cuál serían las potenciales consecuencias de no utilizar un controlador de carga para un banco de baterías?

1.6.6. Fusibles, diodos de bypass y diodos de bloqueo

En los módulos solares fotovoltaicos, como en todo dispositivo eléctrico, pueden producirse variaciones o interrupciones de energía. Para controlar estos problemas, se utilizan los fusibles y los diodos.

1.6.6.1. Fusibles

Los fusibles son dispositivos que se ubican en una conexión eléctrica para:

- Proteger contra sobrecorrientes y corto circuitos.
- Permitir el paso de la corriente mientras ésta no supere un valor establecido.
- Evitar un cortocircuito accidental mientras se trabaja con el circuito de la instalación.

En el caso de las instalaciones de módulos solares en recintos domiciliarios fuera de la red pública de energía eléctrica, se sugiere ubicar un fusible entre el regulador y la batería y otro fusible entre la batería y el inversor. Otros lugares comunes para ubicar los fusibles son la caja de combinación para el circuito de la fuente fotovoltaica y en el interior del inversor en un solo dispositivo.

¿Cómo instalar fusibles apropiadamente en una instalación solar?

Lo primero que debemos considerar es que los fusibles e interruptores son utilizados principalmente para proteger el cableado del sistema del calor excesivo y de los subsecuentes incendios. En segundo lugar, son usados para proteger los equipos de ser seriamente dañados si existiera un corto circuito.

Un buen ejemplo es una batería de 12 V de plomo ácido. Si ocurre un corto circuito en el inversor, un fusible entre la batería y el inversor protegerá a la batería de una posible explosión y cortará el circuito lo bastante rápido como para prevenir que el cableado se incendie o llegue a temperaturas peligrosamente altas producto de la excesiva corriente. En este caso, la batería, cables y el inversor son desconectados en forma segura a través del fusible.

Fusibles en paneles solares

Comercialmente, los paneles solares mayores a 50 Wp de capacidad tienen cables de sección 4 mm², los cuales pueden manejar una corriente de hasta 30 A. En el caso de las conexiones en paralelo, las corrientes del sistema comienzan a sumarse. Por ejemplo, si tenemos un sistema de 5 strings con 9 A de corriente de corto circuito por cada uno, la corriente inversa será 2 veces la corriente de cortocircuito del string (2 x 9A=18 A). Por lo tanto, es recomendable en este caso que se instale un fusible de 15 A por string. No obstante lo anterior, es primordial que el conductor sea dimensionado correctamente para soportar las sobrecargas y los cortocircuitos del sistema, aún contando con la presencia de fusibles.

Fusible entre controlador de carga y batería

Con un controlador de carga PWM (Ancho de Pulso Modulado), el peor escenario es que la corriente hacia y desde el controlador es la misma, así que el fusible se puede igualar a la corriente máxima admisible del conductor. Los controladores con MPPT, por otro lado, son capaces de bajar el voltaje e incrementar la corriente entre el controlador y el banco de baterías, así que debemos recalcular la capacidad del fusible. En general, esa información es dada por el fabricante del controlador.

Fusible entre batería e inversor

El cableado y la elección de fusibles desde la batería al inversor tiene una importancia crítica debido a que es en donde fluirá la mayor cantidad de corriente. De forma similar al caso del controlador de carga, el cableado y el fusible debe ser obtenido del fabricante del inversor. Es muy común que el inversor ya tenga incorporado un fusible tanto en la entrada como en la salida de corriente alterna de la unidad. Un inversor de 1.500 W típico, de 12 V, onda pura, maneja 125 A en el lado de continua. Si consideramos un 25% de capacidad extra, debemos pensar en 156 A. Luego, podemos utilizar un fusible de 160 A, para proteger el conductor. Tomando como referencia lo anterior, el cable a utilizar debiera ser 53,5 mm². Si tomamos como referencia la tabla 8.7a de la Norma Chilena NCH Elec. 4/2003, Grupo A, canalizado, podemos utilizar un conductor XTU de 53,5 mm², con una capacidad de transporte de 170 A.

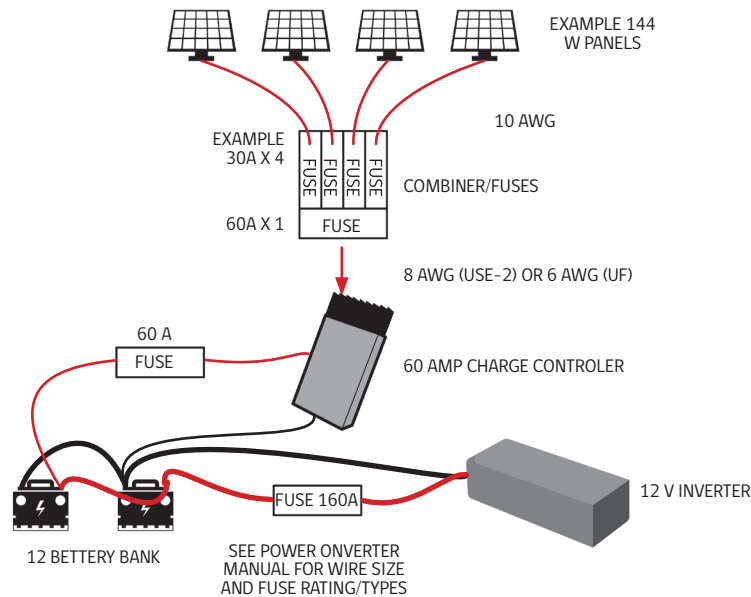


ILUSTRACIÓN 46: FUSIBLE ENTRE BATERÍA E INVERSOR

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los sistemas On Grid, el tratamiento de los fusibles es parecido, aunque sólo son utilizados entre los paneles fotovoltaicos y el inversor.

Es importante recalcar que los fusibles deben ser clasificados para ser empleados en Corriente Continua y deben contar con una clasificación de tensión igual o superior que la tensión máxima del sistema fotovoltaico. Por último, deben ser de la clase gPV para instalaciones fotovoltaicas.

¿Cuándo usar o no fusibles en un sistema FV On Grid?

Como se indicó, los fusibles son requeridos para proteger los cables y los módulos fotovoltaicos de fallas de línea a línea, línea a tierra y falta de coincidencia. El único propósito es evitar el fuego y abrir con seguridad un circuito con falla si ocurriera un evento de sobrecorriente. Sin embargo, hay algunas situaciones en las que no se requieren fusibles y están definidas por lo siguiente:

- String único (no se requiere fusible): Este caso es válido siempre que los cables de conexión tengan una clasificación de $1.56 \times I_{sc}$ o superior.
- Dos strings en paralelo (no se requiere fusible): No se requieren fusibles si las corrientes de cortocircuito de todas las fuentes no exceden la corriente máxima de los conductores. En este escenario, cada string de módulos puede producir una corriente de circuito máxima de $1.25 \times I_{sc}$. Siempre que los cables de conexión tengan una clasificación de $1.56 \times I_{sc}$ o superior, la corriente de falla del circuito combinado no es lo suficientemente grande como para causar daños al cableado o a los módulos, por lo que no es necesario utilizar fusibles.
- Tres o más strings en paralelo (sí se requieren fusibles): En este escenario, una falla en un string estará sujeta a las corrientes de circuito máximas de todas los demás strings conectados, con cada string entregando $1.25 \times I_{sc}$ en las condiciones más desfavorables. Las corrientes de falla combinadas serán mayores que la capacidad nominal de resistencia del cableado instalado de $1.56 \times I_{sc}$, así como la clasificación de fusibles en serie de los módulos fotovoltaicos. Bajo esta condición de falla, tanto los conductores como los módulos FV estarían sujetos a daños, por lo tanto, se requieren fusibles.

Cinco Pasos Para Dimensionar Los Fusibles de Sistemas Fotovoltaicos

- **Paso 1:** determine la corriente máxima del circuito.

La corriente de cortocircuito (I_{sc}) de un módulo fotovoltaico puede fluctuar en función de la intensidad de la luz solar, variando desde su capacidad nominal. El fabricante del módulo calcula las capacidades en condiciones de prueba estándar (STC), donde la irradiancia es igual a $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ y la temperatura del módulo es de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Para condiciones donde la irradiancia de la luz solar es más alta que STC, I_{sc} será más alto que lo indicado por placa. Por el contrario, para condiciones en las que la irradiancia de la luz solar es menor que la STC, I_{sc} será menor que lo indicado por el fabricante. Calcularemos la salida de corriente máxima del circuito en el caso extremo (escenario de peor caso), que es un valor que da cuenta de los valores normales y esperados de irradiación de la luz solar que excede el valor de clasificación estándar de $1000 \text{ W} / \text{m}^2$.

Para circuitos de fuentes FFV, la corriente máxima del circuito (I_{max}), o corriente continua, se define como 1.25 multiplicado por la corriente de cortocircuito nominal del módulo FV (I_{sc}) o la suma de Corrientes de cortocircuito nominales del módulo FV en strings en paralelo.

Por lo tanto, para n strings, la ecuación para determinar la corriente máxima del circuito (I_{max}) es: $I_{max} = (I_{SC1} + I_{SC2} + I_{SC3} + \dots + I_{SCn}) \times 1.25$

- **Paso 2:** determine la clasificación nominal del amperaje del fusible.

Los dispositivos de protección contra sobrecorriente deben transportar no menos del 125% de la corriente máxima del circuito ($I_{m\acute{a}x}$) o corriente continua, calculada en el paso 1. En otras palabras, el dispositivo no se puede cargar a más del 80% de su índice nominal de amperes continuamente. Este es un factor requerido de seguridad. Por norma, los conductores no se cargan al 100%; el mismo concepto se aplica a los fusibles. Por lo tanto, al usar la corriente de circuito máxima ($I_{m\acute{a}x}$) calculada en el Paso 1, la siguiente ecuación para determinar el amperaje nominal del fusible (I_n) es: $I_n = I_{m\acute{a}x} \times 1.25$

- **Paso 3:** fusible de reducción de velocidad debido a la temperatura ambiente anormal (si es necesario).

Las clasificaciones de amperes de la placa de identificación del fusible, como los módulos fotovoltaicos, las calcula el fabricante del fusible en condiciones de prueba estándar, donde la temperatura ambiente es de 25°C. Para temperaturas de funcionamiento superiores a 40°C se aplicarán los factores de corrección de temperatura del fabricante. Los fusibles son dispositivos térmicos; la exposición prolongada a temperaturas ambiente superiores a 40°C acelerará el tiempo de fusión del fusible y puede provocar operaciones a valores más bajos que la clasificación de la placa de identificación del fusible. A la inversa, la exposición prolongada a temperaturas ambiente inferiores a 0 °C retardará el tiempo de operación del fusible. En este caso, podemos dar las siguientes recomendaciones:

1. Si los fusibles están instalados donde las temperaturas superan los 40°C, intente instalarlos a la sombra o cubiertos del sol. Esto mitigará la exposición al calor y es posible que no sea necesario aplicar los factores de corrección.
2. Si las temperaturas superan los 40°C, y la opción 1 no es posible, verifique la duración de la exposición a altas temperaturas. Si la exposición a altas temperaturas es de 2 horas o menos, es probable que no sea necesario aplicar factores de corrección.
3. En el peor de los casos, si los fusibles funcionan en entornos al aire libre y hay exposición a la luz solar directa y las temperaturas sostenidas superan los 40 °C, se puede aplicar un factor de corrección para evitar operaciones molestas.

- **Paso 4:** Determine la clasificación del amperaje de la placa de identificación del fusible.

Si la clasificación del amperaje del fusible (I_{rated}) no es una clasificación de amperaje que esté disponible, se puede seleccionar el siguiente con capacidad más alta. Por ejemplo, si la capacidad de amperes del fusible se calcula en 13.5 A, se debe usar un fusible de 15 A ya que es la siguiente más alta. Los valores de amperes de fusibles fotovoltaicos fácilmente disponibles pueden incluir 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500 y 600 A.

- **Paso 5:** Verifique que el fusible protegerá los conductores.

La clasificación de la placa de identificación del fusible, después de cualquier corrección de las condiciones de uso (Pasos 3 y 4), debe ser menor o igual que la capacidad de corriente del conductor seleccionado. De lo contrario, se debe aumentar el tamaño del conductor para garantizar la seguridad.

A continuación, se presentan las curvas características de los fusibles en CC utilizados en sistemas FV:

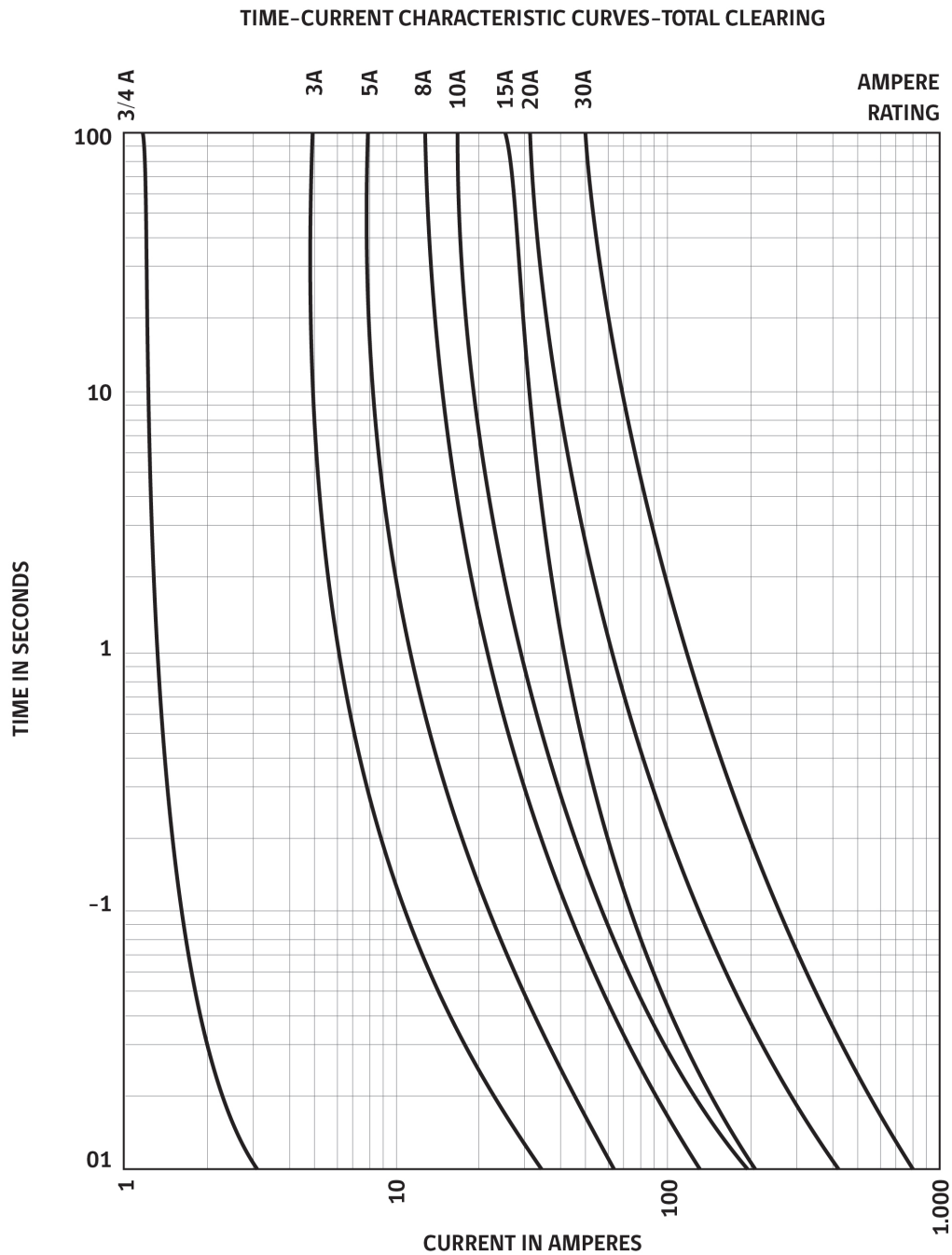


ILUSTRACIÓN 47: CARACTERÍSTICAS DE LOS FUSIBLES EN CORRIENTE CONTINUA

Fuente: Elaboración propia

1.6.6.2. Diodos

Los diodos son dispositivos que sirven para:

- Evitar los cortocircuitos, sobre intensidades y sobretensiones eléctricas. De este modo, son mecanismos de protección que prestan seguridad tanto a las personas como a los equipos eléctricos y electrónicos.
- Permitir la circulación de corriente en un solo sentido, bloqueando en el sentido contrario, evitando así daños en otros componentes del sistema fotovoltaico instalado.
- Desviar la corriente desde un sector sombreado del módulo, haciendo que pase a través del resto del sistema. Así, se evita que las celdas de un panel que está parcialmente sombreado se comienzan a comportar como una “carga” o “consumo”, haciendo que se calienten por sobre sus límites de diseño, pudiendo quemarse completamente.
- En sistemas aislados u Off Grid, basados en acumuladores o baterías, los diodos evitan el regreso de la corriente acumulada de la batería a los módulos, sobre todo de noche.

Tanto los diodos para aplicaciones de bloqueo como de paso, permiten conseguir una mejor eficiencia y una mayor protección de los elementos en los módulos solares fotovoltaicos.

Es importante señalar que como el diodo disipa una parte de energía en forma de calor, la mayoría de estos componentes tienen una caída de voltaje entre 0,7 y 1 volt.

Existen distintos tipos de diodos:

- **Diodos de bloqueo (potencia):** Dispositivo unidireccional por donde circula la corriente en un solo sentido y contrario al de la conducción. El único procedimiento de control es invertir el voltaje entre ánodo y cátodo.
 - La principal característica de este dispositivo, es que en estado de conducción es capaz de soportar una alta intensidad de corriente, con una pequeña caída de tensión. Además, en sentido contrario, es capaz de soportar una fuerte tensión negativa de ánodo con una pequeña intensidad de fugas.
 - En general, se ubican a la salida de cada fila o columna de los módulos, a fin de que se disipe la potencia generada cuando ocurre un problema.
- **Diodos de paso (bypass):** Estos dispositivos se instalan dentro de la caja o módulo, permitiendo, por ejemplo, que la corriente fluya alrededor de la parte del módulo averiado. Se activan si una celda del módulo está dañada, permitiendo el proceso normal en el resto de las celdas del módulo. Asimismo, protegen la celda o celdas que están “sombreadas sin energía”, permitiendo que las otras celdas sigan aportando energía normalmente. También evitan que una celda dañada bloquee la salida de otras celdas conectadas en serie, favoreciendo el trabajo normal de los módulos solares.

Los módulos solares fotovoltaicos grandes tienen incorporados diodos bypass, especialmente para los sistemas de módulos solares sobre los 36 V.

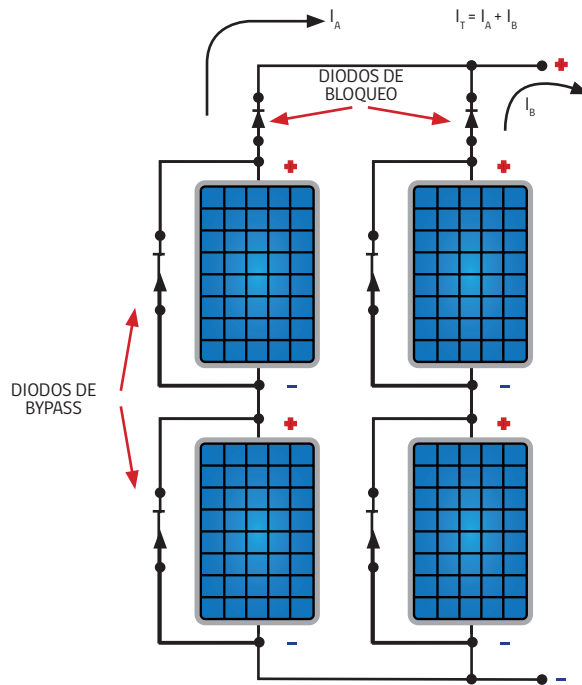


ILUSTRACIÓN 48: ESQUEMA DE UBICACIÓN DE DIODOS

Fuente: Elaboración propia

CAJA DE CONEXIÓN DE UN PANEL FV

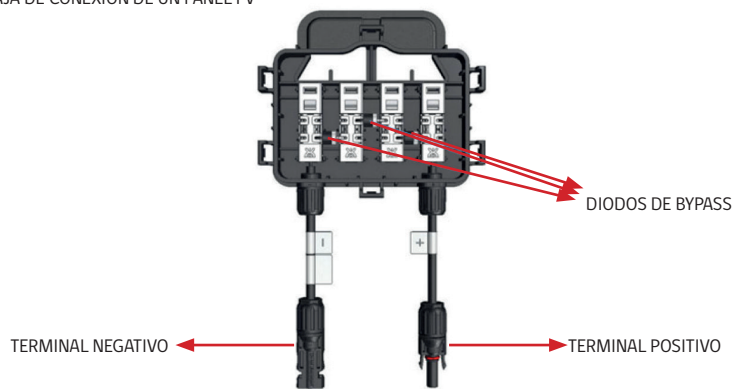


ILUSTRACIÓN 49: ESQUEMA DE JUNCTION BOX QUE CONTIENE LOS DIODOS Y SE ENCUENTRA DETRÁS DE LOS PANELES

Fuente: Elaboración propia

La siguiente actividad tiene como propósito reforzar la comprensión sobre el uso de diodos en la conexión de las celdas fotovoltaicas.

ACTIVIDAD 20

Utilidad de los diodos de bypass



Utilizar diodos de bypass en las celdas fotovoltaicas.

Considere la caja de conexión de un panel fotovoltaico del laboratorio y responda lo siguiente:

- ¿Cuál es la utilidad de los diodos de bypass o de paso en un módulo fotovoltaico?
- Dibuje un diagrama indicando la instalación de diodos entre celdas y explique su funcionamiento.
- ¿Para qué se utilizan los diodos de bloqueo dentro de una instalación fotovoltaica?

Utilizando el maletín de fundamento, en la siguiente actividad, verificará la efectividad de los diodos de bypass de manera práctica.

ACTIVIDAD 21

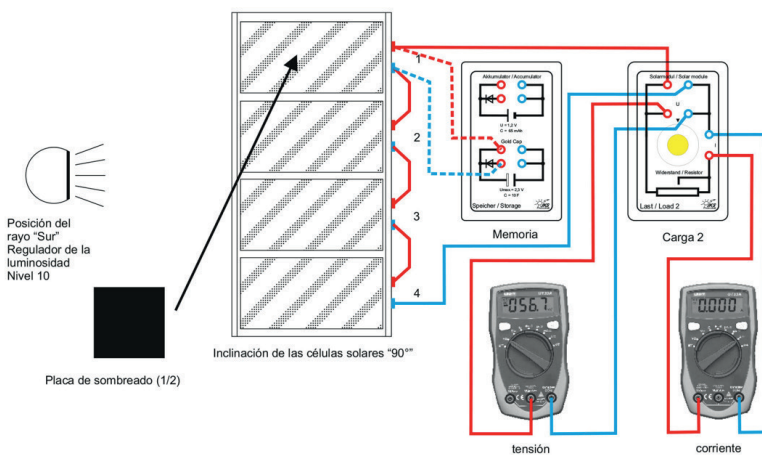
Efectividad de los diodos en paneles con celdas bajo sombra



Práctica: Utilizando el Maletín de fundamentos, realice las siguientes actividades:

Construya el experimento de acuerdo con la siguiente representación:

Estructura



Esquema de conexiones

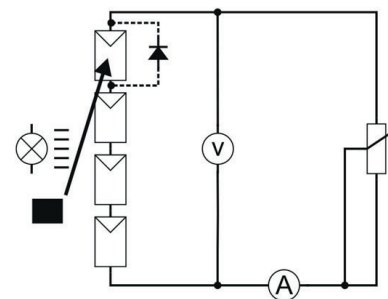


ILUSTRACIÓN 50: ESQUEMA DE ESTRUCTURA Y CONEXIONES DIODOS

Fuente: Payelec, Manual Solartrainer, 2017

- Con sombreado 1/2 sin diodo de bypass.
 - El brazo de la lámpara se encuentra en la posición Sur, el regulador de la luminosidad en el nivel 10.
 - Conecte un multímetro como se muestra, el selector de rango debe estar en la posición V CC.
 - Conecte un multímetro como se muestra, el selector de rango debe estar en la posición A CC.
- A:** Gire el botón de giro del aparato (carga 2) totalmente a la derecha (resistencia máxima). Con el botón de giro, ajuste el primer valor de corriente en la tabla A e introduzca el valor de tensión que falta.
- Ahora, ajuste el siguiente valor indicado e introduzca el valor que falta en la tabla. Continúe hasta introducir todos los valores. Ahora trace en el diagrama una curva característica con los valores medidos.
 - Construya el experimento de acuerdo con la ilustración 51, con sombreado 1/2 con diodo de bypass.
 - El brazo de la lámpara se encuentra en la posición Sur, el regulador de la luminosidad en el nivel 10.
- B:** Gire el botón de giro del aparato (carga 2) totalmente a la derecha (resistencia máxima). Con el botón de giro, ajuste el primer valor de corriente en la tabla B e introduzca el valor de tensión que falta. Ahora, ajuste el siguiente valor indicado e introduzca el valor que falta en la tabla. Continúe hasta introducir todos los valores. Ahora trace en el diagrama una segunda curva característica con los valores medidos.

¿Se observa alguna diferencia en la tensión de las celdas sombreadas con y sin diodo de bypass?

¿Qué sucede con la corriente y la potencia en ambos casos?

Tabla 1

Sin diodo de bypass

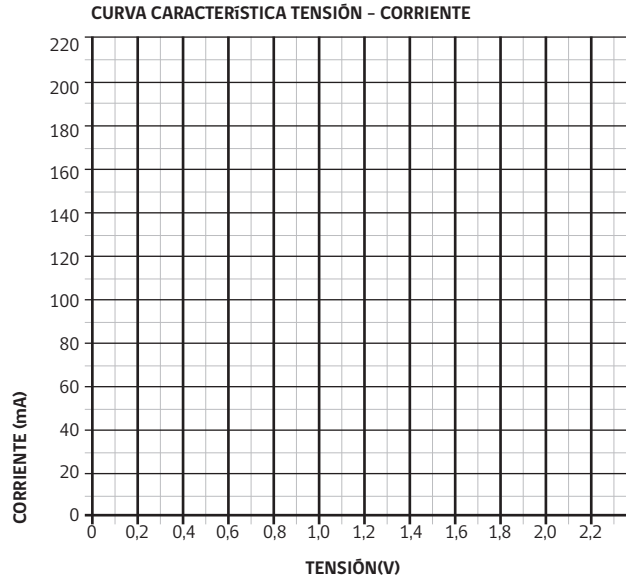
TENSIÓN (V)						1,50	1,00	0,90	0,70	0,60	0,30
CORRIENTE (mA)	22	50	80	100	120						

Tabla 2

Con diodo de bypass

TENSIÓN (V)						1,50	1,00	0,90	0,70	0,60	0,30
CORRIENTE (mA)	20	50	80	100	120						

Gráfico 1



1.6.7. Protecciones Corriente Continua (CC) y Corriente Alterna (CA)

Las protecciones eléctricas, tanto para el lado de corriente continua, como para el lado de corriente alterna, juegan un rol importante dentro de un sistema fotovoltaico.

Por ejemplo, en una instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red, se deben incorporar los siguientes elementos de protección:

- **Desconector CC:** este dispositivo viene incorporado en la mayoría de los inversores.
- **Protección contra sobrecorrientes:** dependiendo del tamaño del sistema, el uso de fusibles o interruptores en el lado de CC puede ser opcional.
- **Protección de sobrecarga y cortocircuito (interruptor magnetotérmico):** bipolares o tetrapolares.
- **Protección de falla a tierra:** este dispositivo alerta sobre una eventual fuga a tierra y viene incorporada en los inversores comercializados en nuestro país.
- **Interruptor CA:** permite la desconexión de la red con el inversor.
- **Interruptor Diferencial:** mide permanentemente la diferencia entre el valor de la corriente de entrada y el de la corriente de salida del circuito que protege. Si dicha diferencia no es nula, significa que existe una fuga o una falla de aislamiento.

Aunque la mayoría de los sistemas fotovoltaicos residenciales son fácilmente dimensionados entre una cantidad estándar de productos encontrados en el mercado, es una buena idea entender las matemáticas utilizadas para cuantificar los voltajes, corrientes y potencias que viajan a través del circuito.

Desconector CC: este dispositivo es un interruptor manual on/off que se instala en el circuito del lado de corriente continua de un sistema fotovoltaico y que proporciona una forma de apagar rápidamente una sección del circuito CC. Para un sistema fotovoltaico pequeño, lo normal es que este dispositivo venga incorporado en el inversor.

Protección de falla a tierra: este dispositivo es obligatorio en los sistemas fotovoltaicos. Afortunadamente, la mayoría de los inversores incluyen un interruptor de falla a tierra interno. Este dispositivo nos indica que en algún lugar de nuestro sistema, un conductor puede estar en cortocircuito o ha hecho contacto con una superficie metálica. Esto puede resultar en un choque eléctrico severo si llega a ocurrir.

Para monitorear este riesgo, el interruptor de falla a tierra compara la cantidad de corriente en el terminal positivo del string con la del terminal negativo. Si el amperaje no es el mismo, el interruptor de falla a tierra se disparará, ya que la corriente perdida está circulando a través de la estructura de los paneles o canalizaciones y cajas metálicas.

Los inversores usualmente alertan de las fallas a tierra con una alarma sonora o un indicador LED. El manual de usuario del inversor proporciona instrucciones de cómo proceder, y es necesario que un técnico eléctrico o un técnico en sistemas fotovoltaicos solucionen este problema.

Interruptor CA: este dispositivo se instala entre el inversor y el tablero de conexión de la casa o industria. En particular, desde el inversor existen dos cables (fase y neutro) que se conectan al tablero general de la casa y que deben pasar por este interruptor. La capacidad de este interruptor debe considerarse con la capacidad disponible inmediatamente superior a la corriente de salida máxima del inversor.

En el caso de los sistemas FV conectados a redes monofásicas, el interruptor deberá ser del tipo bipolar y en el caso de sistemas trifásicos, el interruptor seleccionado deberá ser del tipo tetrapolar.

Interruptor Diferencial CA: este dispositivo es obligatorio y se instala entre el inversor, en serie con el interruptor CA, al tablero general de la casa. Además, la norma exige que éste sea del Tipo A o B, descartándose para la utilización en los sistemas fotovoltaicos los interruptores del tipo CA. La capacidad de este interruptor diferencial se calcula de la misma forma que para el interruptor CA.

Protección RI: la protección RI (Protección de Red e Instalación) tiene como función desacoplar el sistema FV de la red cuando, por lo menos, un valor de operación de la red de distribución (voltaje o frecuencia) se encuentra fuera del rango de ajuste de esta protección. La protección RI puede estar integrada al inversor o ser externa a este. En general, la protección RI viene incorporada en los inversores que se comercializan en nuestro país.

La protección RI debe realizar las siguientes funciones de protección:

- Protección contra caídas de tensión.
- Protección contra sobretensiones.
- Protección contra sobretensiones.
- Protección contra caída de la frecuencia.
- Protección contra subidas de la frecuencia.
- Reconocimiento de la formación de islas.



ILUSTRACIÓN 51: INTERRUPTOR CA

Fuente: Bticino



ILUSTRACIÓN 52: INTERRUPTOR DIFERENCIAL CA

Fuente: ABB

Las empresas de distribución eléctrica se refieren a los conjuntos residenciales de energía solar conectados a la red, como productores de generación distribuida (GD). Utilizan este término porque sus paneles solares están produciendo y distribuyendo energía eléctrica a la red eléctrica. Una “isla” se refiere a la condición de un generador GD que continúa alimentando el circuito con energía, incluso después de que se haya cortado la alimentación de la red eléctrica.

Los sistemas de generación distribuida deben detectar la formación de islas y dejar de alimentar las líneas de servicios públicos de manera inmediata, ya que esto se convierte en un riesgo para los trabajadores de la línea eléctrica. En este sentido, la normativa exige que un sistema de energía solar conectado a la red tenga un inversor de red con una función anti-isla, que apaga el sistema cuando detecta que se produce un corte de energía.

La protección de Red e Instalación (RI) debe ser ajustada según la normativa vigente y debe ser visible directamente en el inversor o a través de una interfaz conectada a un computador. Una vez programada de acuerdo a la normativa, los ajustes deben permanecer inalterados.

Los inversores On Grid comercializados en el país, en su mayoría, tienen incorporado el perfil de red de Chile, con lo cual los parámetros de ajuste de la protección RI vienen programados desde fábrica. Véase www.sec.cl



INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- Para ampliar las características de la protección RI y los ajustes solicitados por la normativa eléctrica vigente, se recomienda consultar los documentos de los siguientes enlaces: www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/ELECTRICIDAD_NET_METERING/RGRN_02_INSTRUCCION_TECNICA_V4.DOC.PDF.

www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/ELECTRICIDAD_NET_METERING/NORMA_TECNICA_GENERACION_BT.PDF

1.7. CABLEADO Y CONEXIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.7.1. Sistemas fotovoltaicos aislados (Off Grid)

Un sistema fotovoltaico aislado, es un sistema solar automático que produce potencia eléctrica para cargar un banco de baterías durante el día, para su uso en la noche o cuando la energía del sol no está disponible.

Los sistemas aislados son ideales para áreas rurales remotas y aplicaciones donde otras fuentes de energía son inexistentes o no prácticas. En esos casos, es más efectivo costear un sistema fotovoltaico aislado, que el costo de traer la red de distribución eléctrica directamente hasta el lugar del consumo.

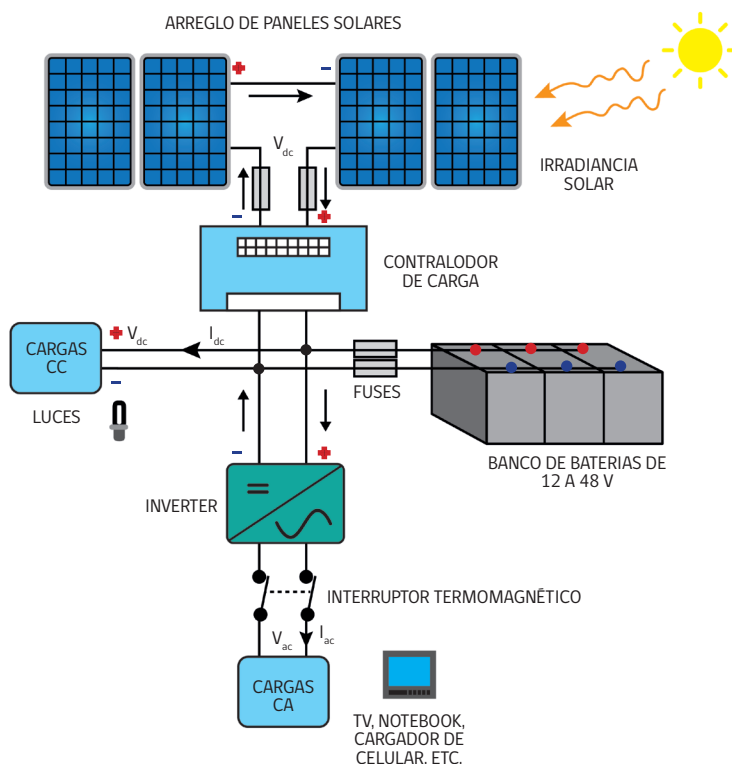


ILUSTRACIÓN 53: SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO SIMPLIFICADO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Mientras que, en general, los mayores costos de un sistema aislado corresponden al arreglo fotovoltaico, existen varios otros componentes que son necesarios. Estos incluyen:

- **Baterías:** las baterías son un importante elemento en un sistema fotovoltaico aislado, sirviendo para almacenar la electricidad generada, pero pueden ser opcionales dependiendo del diseño. Dependiendo de la configuración del arreglo solar, los bancos de baterías pueden ser de 12, 24 o 48 V y con muchos cientos de amperes en total.
- **Controlador de carga:** un controlador de carga regula y controla la salida de potencia del arreglo solar, previniendo que las baterías sean sobrecargadas (o sobre descargadas) disipando el exceso de potencia en una resistencia de carga.
- **Inversor:** el inversor puede ser una unidad opcional de un sistema fotovoltaico aislado. Los inversores son utilizados para convertir la corriente continua del arreglo solar y de las baterías en 12, 24 o 48 V en una corriente alterna (CA) en 220 V, para utilizarla con la mayoría de los equipos CA, tales como televisores, lavadoras, computadores, etc.
- **Cableado:** el componente final requerido en un sistema fotovoltaico aislado es el cableado eléctrico. Es necesario que los cables sean correctamente dimensionados de acuerdo a los requerimientos de voltaje y potencia. Los conductores que deben emplearse para la parte de corriente continua, entre los paneles e inversor, deben ser cables del tipo solar. Estos tienen una designación del tipo H1Z2Z2-K y están especialmente contruidos para instalaciones fotovoltaicas instaladas al aire libre expuestas a alta temperatura y radiación UV.

RECUERDA

- Los cables a utilizar deben ser de un solo núcleo con una tensión de CC máxima admisible de 1,0 kV. y un rango de temperatura de -40°C a $+90^{\circ}\text{C}$ ambiente y 120°C en el conductor para una vida útil de 25 años contra el envejecimiento térmico.
- Los cables de CC deben estar aislados, doble clase II, para protegerse y soportar cortocircuitos, fallas a tierra, cargas térmicas, cargas mecánicas, abrasión y ratos UV.
- Los cables de material reticulado, a prueba de halógeno y retardante a las llamas, también se puede instalar en condiciones secas y húmedas en interiores.

1.7.2. Factores importantes al utilizar un sistema fotovoltaico aislado

En primer lugar, es importante considerar cómo y cuándo se utiliza la electricidad. Luego, es importante reducir la demanda de energía a través de medidas de eficiencia energética.

La instalación de dispositivos de ahorro de energía y luces LED, por ejemplo, reducirá la demanda eléctrica y permitirá instalar un sistema fotovoltaico aislado de acuerdo a las necesidades energéticas reales.

Luego, si bien un sistema fotovoltaico autónomo no es un sistema complicado de instalar y poner en marcha, comparado con otras formas de electrificación fuera de la red como turbinas eólicas, sistemas hidroeléctricos, etc., se debe considerar la necesidad de un mantenimiento periódico, lo cual no está normalmente asociado a los sistemas conectados a red estándar. Por ello, es importante familiarizarse con cómo funciona un sistema fotovoltaico aislado y qué tipo de mantenimiento requiere.

Todos los componentes del sistema deben ser revisados y limpiados regularmente para asegurar que el sistema está funcionando óptimamente, para lo cual se requerirá de algunos conocimientos eléctricos básicos que permita instalarlos y mantenerlos de una manera efectiva, diagnosticando cualquier problema. Incorporar mantenimiento de baterías y ver el alcance del instalador debido a la corriente continua.

Son muchas las ventajas de un sistema fotovoltaico aislado, entre las cuales se incluyen el bajo costo de mantenimiento, escasa generación de residuos o subproductos, y fácil expansión mediante el uso de múltiples paneles solares y baterías. Sin embargo, es importante considerar que se requiere de una alta inversión inicial, especialmente para los paneles fotovoltaicos y baterías, la dependencia del sol y el peligro potencial del ácido de la batería.

ACTIVIDAD 22

Instalación Sistema Fotovoltaico Aislado con banco de baterías en sistema corriente continua



Analizar instalación fotovoltaica aislada (Off Grid) con banco de baterías en sistema de corriente continua.

- ¿Cuál debe ser la secuencia de conexión para los distintos componentes? (excluir el inversor en esta actividad).
- ¿Por qué se debe conectar la batería al regulador (controlador) de carga en primer lugar?
- ¿Por qué es necesario indicar al regulador de carga que tipo de batería se va a utilizar?
- ¿Qué significa el concepto “Estado de Carga” (SOC, State Of Charge en inglés)?
- ¿Qué sucede con la corriente del generador fotovoltaico cuando la batería está descargada?
- ¿Qué sucede con la corriente del generador fotovoltaico cuando la batería se carga al 100%?

Con la siguiente actividad podrá comprobar el contenido teórico, de forma práctica, mediante la medición de variables asociadas a los sistemas fotovoltaicos aislados en banco de entrenamiento del laboratorio.

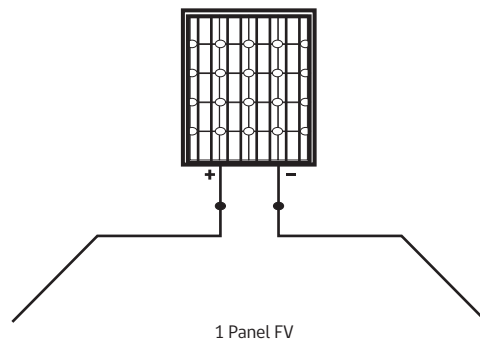
ACTIVIDAD 23

Funcionamiento de un sistema fotovoltaico aislado (Off Grid) sin inversor

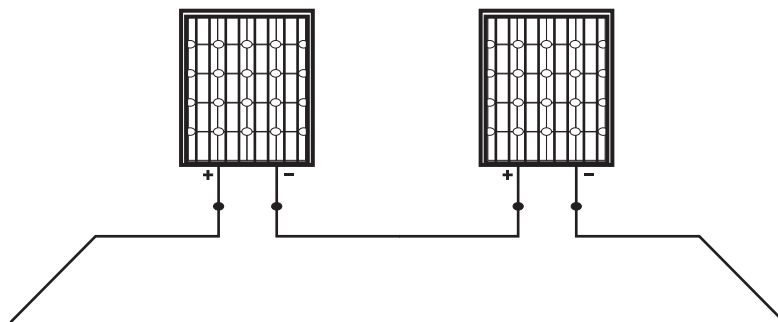


Utilizando el Banco de entrenamiento, realice las siguientes actividades:

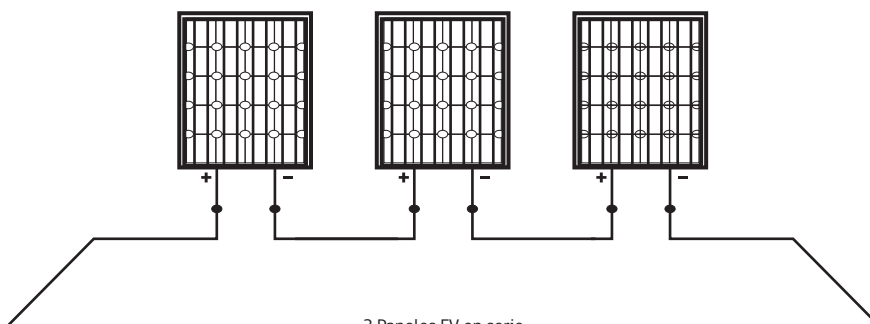
- Realice pruebas con distintas corrientes del generador fotovoltaico y con distintos consumos y anote los valores de las corrientes que van hacia la batería y hacia los consumos. Determine en qué momento las cargas comienzan a tomar energía desde la batería.
 - Para lograr diferentes corrientes con el generador FV, efectúe las siguientes conexiones mostradas a continuación, utilizando los paneles FV de 50 Wp.



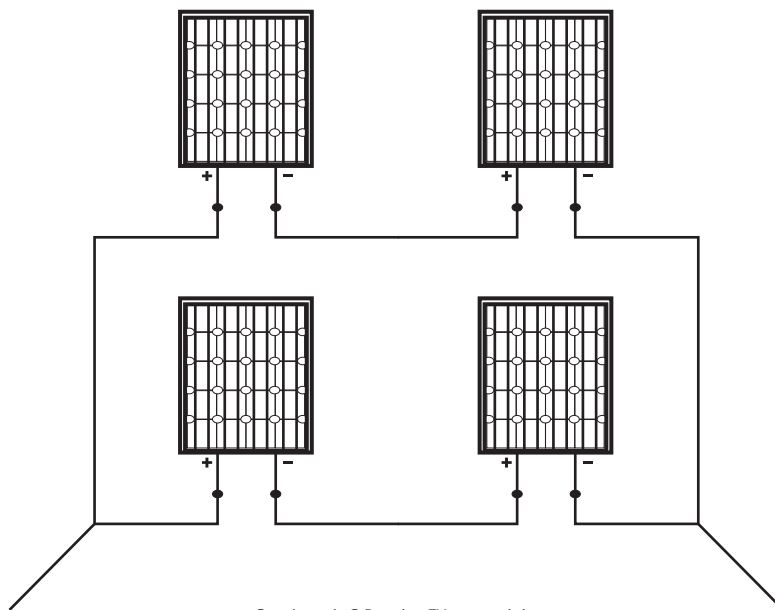
SERIE 1. ORIENTACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA FOTOVOLTAICO



2 Paneles FV en serie



3 Paneles FV en serie



2 strings de 2 Paneles FV en paralelo

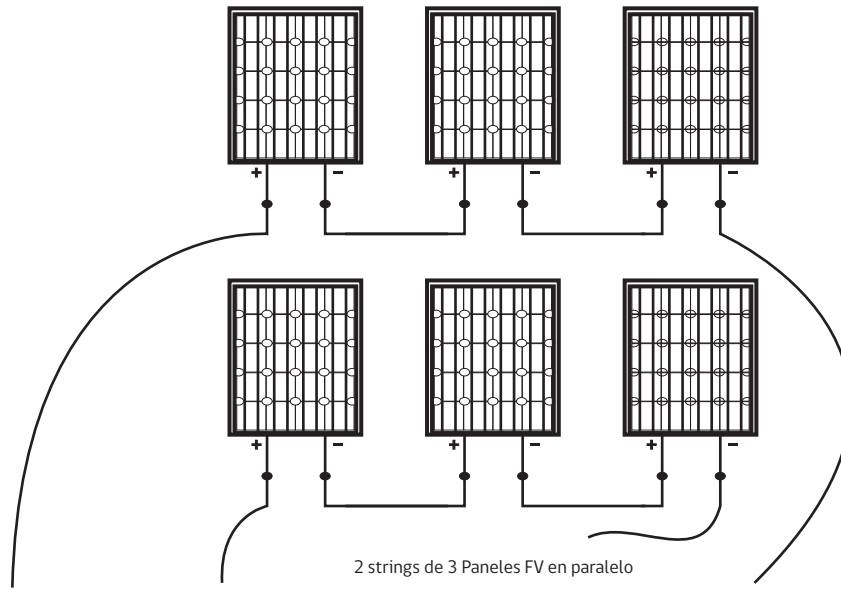


ILUSTRACIÓN 54: ESQUEMAS DE CONEXIONES STRING Y PARALELO

- Efectúe las conexiones de los paneles FV con las protecciones en CC, de acuerdo al siguiente diagrama:

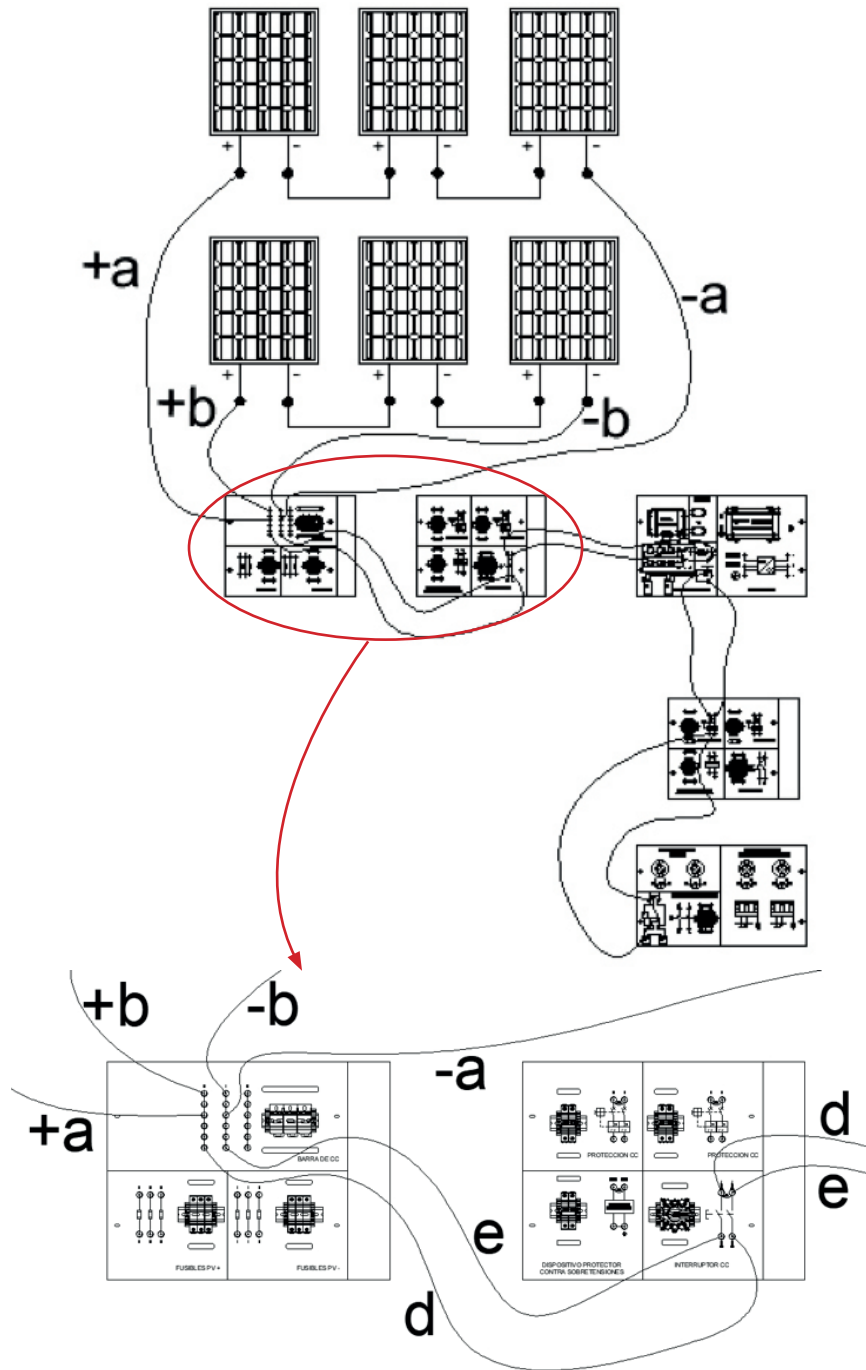


ILUSTRACIÓN 55: ESQUEMA DE CONEXIONES POR PROTECCIÓN CC

- Efectúe las conexiones al controlador de carga. Recuerde que primero se conectan las baterías (conectores f y g) al controlador de carga y luego los paneles (conectores d y e), de acuerdo al siguiente diagrama:

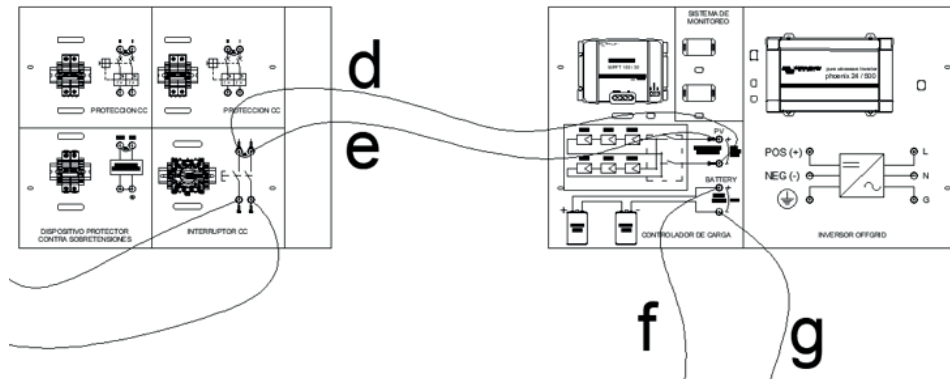


ILUSTRACIÓN 56: ESQUEMA DE CONEXIONES AL CONTROLADOR DE CARGA

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Efectúe las conexiones de las baterías a las protecciones correspondientes y luego conecte las cargas en corriente continua, de acuerdo al siguiente diagrama:

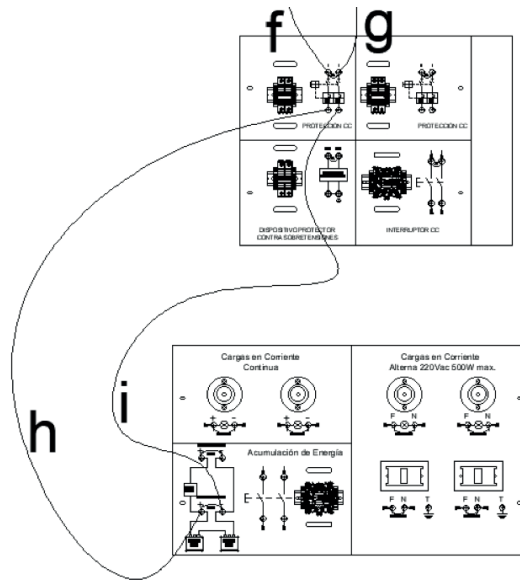


ILUSTRACIÓN 57: ESQUEMA DE CONEXIONES

- Dibuje los flujos de corriente en los tres casos siguientes:
 - Radiación total, batería descargada, sin consumos conectados.
 - Radiación total, batería completamente cargada, sin consumos conectados.
 - Sin radiación (noche), batería cargada y consumos conectados.

La siguiente actividad tiene como propósito reforzar la comprensión del contenido teórico, realizando una relectura de la información sobre las instalaciones fotovoltaicas aisladas con baterías en sistema de corriente alterna para contestar un cuestionario.

ACTIVIDAD 24

Instalación fotovoltaica aislada (Off Grid) con banco de baterías en sistema de corriente alterna (con inversor)



1. ¿Qué tipos de inversores existen?
2. Indique las ventajas y desventajas de los inversores con salida de tensión de: onda cuadrada, trapezoidal y sinusoidal.
3. ¿Cuáles son las consideraciones más importantes a tener en cuenta al operar un inversor aislado?
4. ¿Cómo se determina la potencia del inversor a utilizar?

La siguiente actividad está enfocada a la medición de variables asociadas a los reguladores de carga, esta se realiza utilizando el banco de entrenamiento.

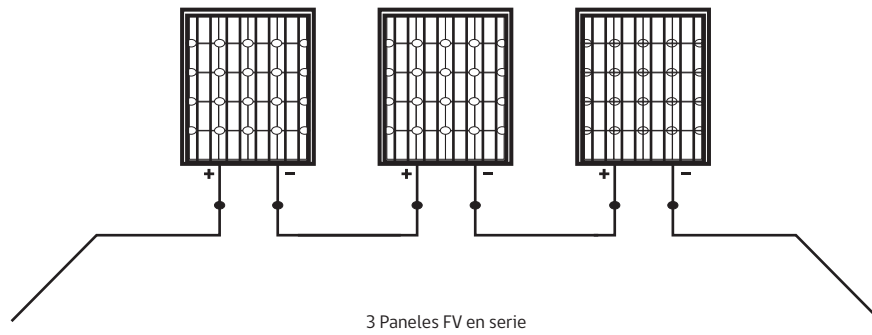
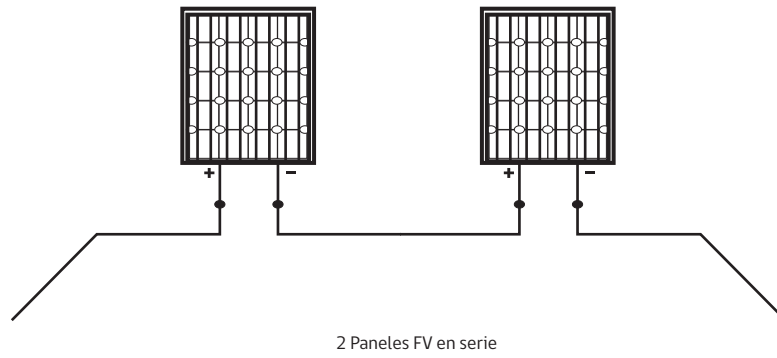
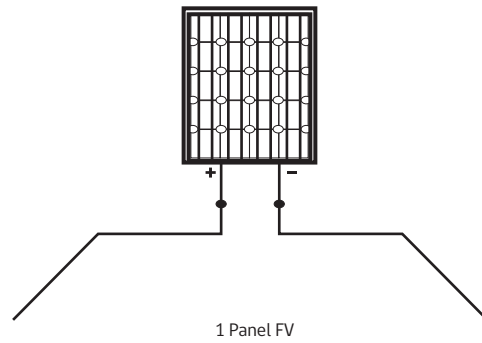
ACTIVIDAD 25

Efecto del regulador de carga en un sistema FV Off Grid con inversor



Utilizando el Banco de entrenamiento, realice las siguientes actividades:

- Realice pruebas con distintas corrientes del generador fotovoltaico y con distintos consumos y anote los valores de las corrientes que van hacia la batería y hacia los consumos. Determine en qué momento las cargas comienzan a tomar energía desde la batería.
 - Para lograr diferentes corrientes con el generador FV, efectúe las siguientes conexiones mostradas a continuación, utilizando los paneles FV de 50 Wp:



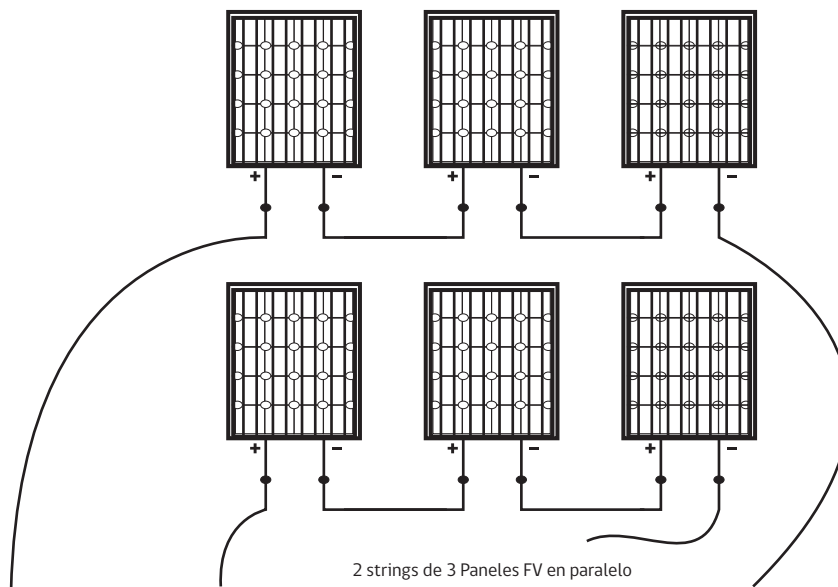
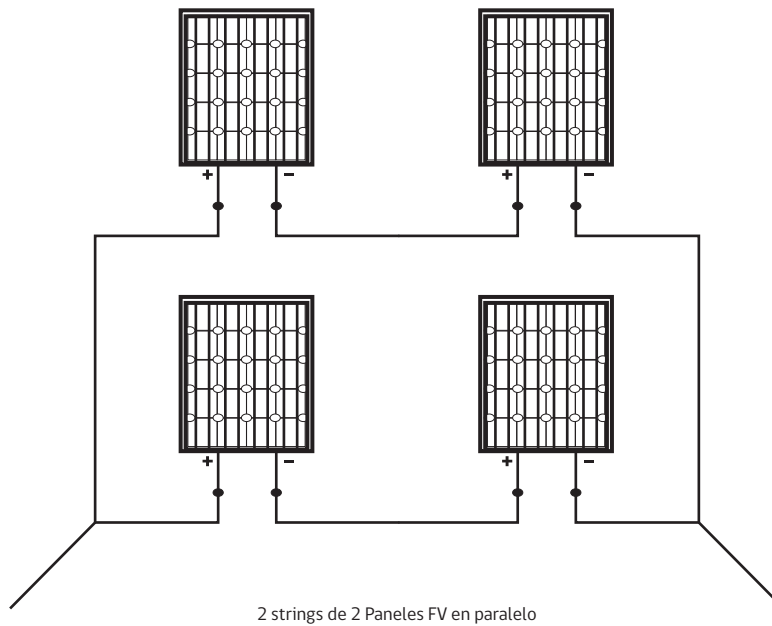


ILUSTRACIÓN 58: ESQUEMA DE CONEXIONES GENERADOR

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Efectúe las conexiones de los paneles FV con las protecciones en CC, de acuerdo al siguiente diagrama:

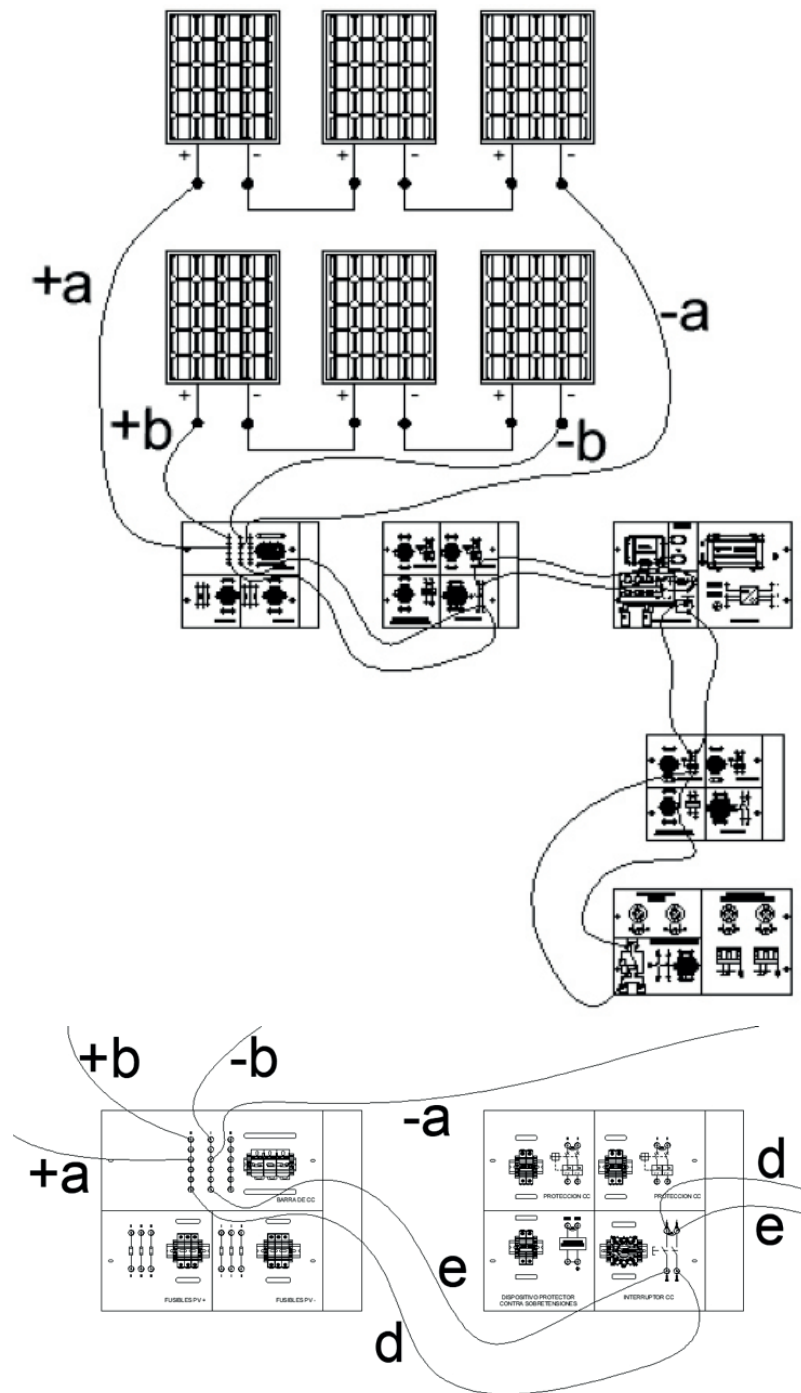


ILUSTRACIÓN 59: ESQUEMA DE CONEXIONES PROTECCIONES CC

- Efectúe las conexiones al controlador de carga. Recuerde que primero se conectan las baterías (conectores f y g) al controlador de carga y luego los paneles (conectores d y e), de acuerdo al siguiente diagrama:

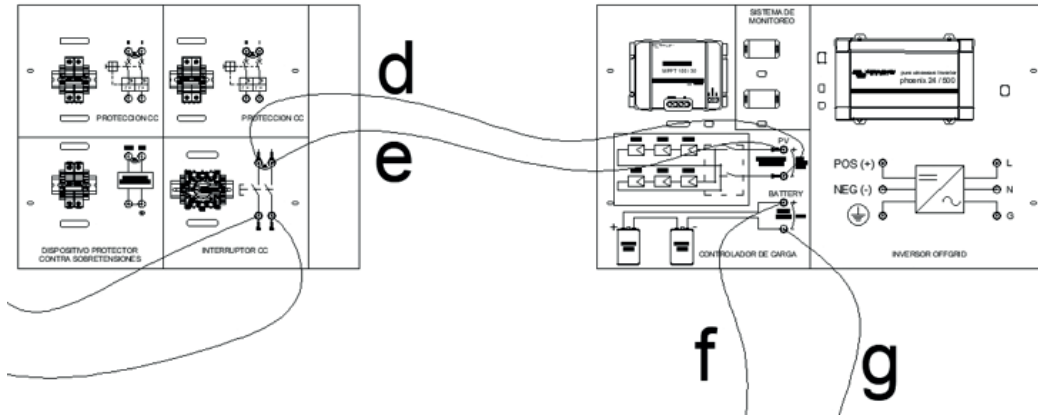


ILUSTRACIÓN 60: ESQUEMAS DE CONEXIONES CONTROLADOR DE CARGA

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Efectúe las conexiones de las baterías a las protecciones correspondientes, de acuerdo al siguiente diagrama:

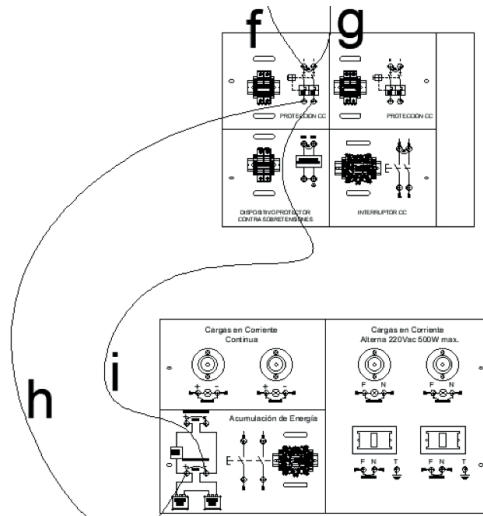


ILUSTRACIÓN 61: ESQUEMA DE CONEXIONES DE BATERÍAS

- Efectúe las conexiones de las baterías hacia el inversor Off Grid, de acuerdo al siguiente diagrama:

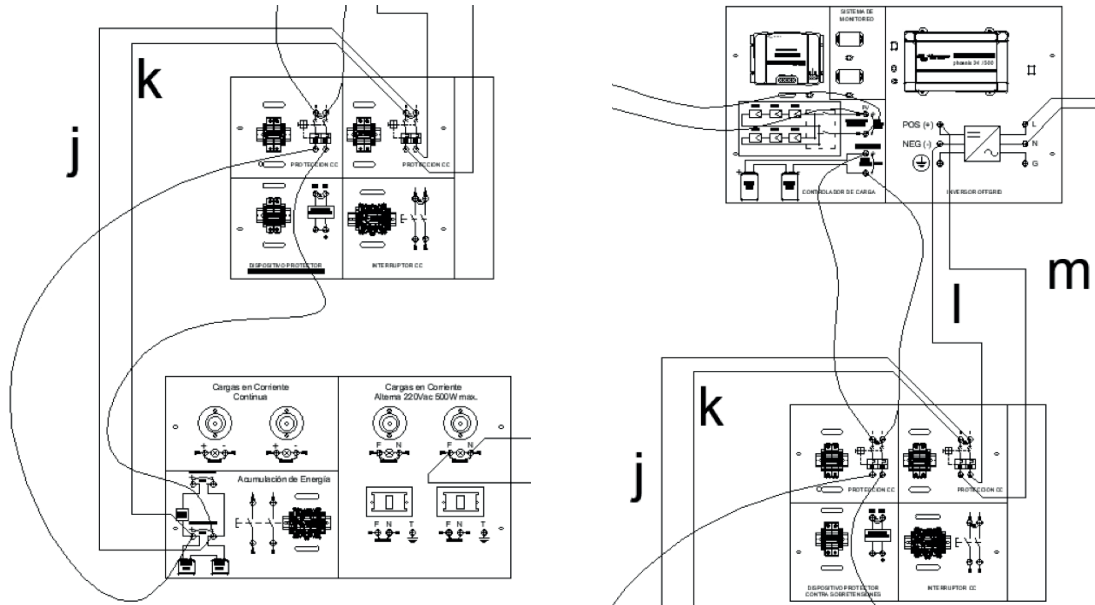
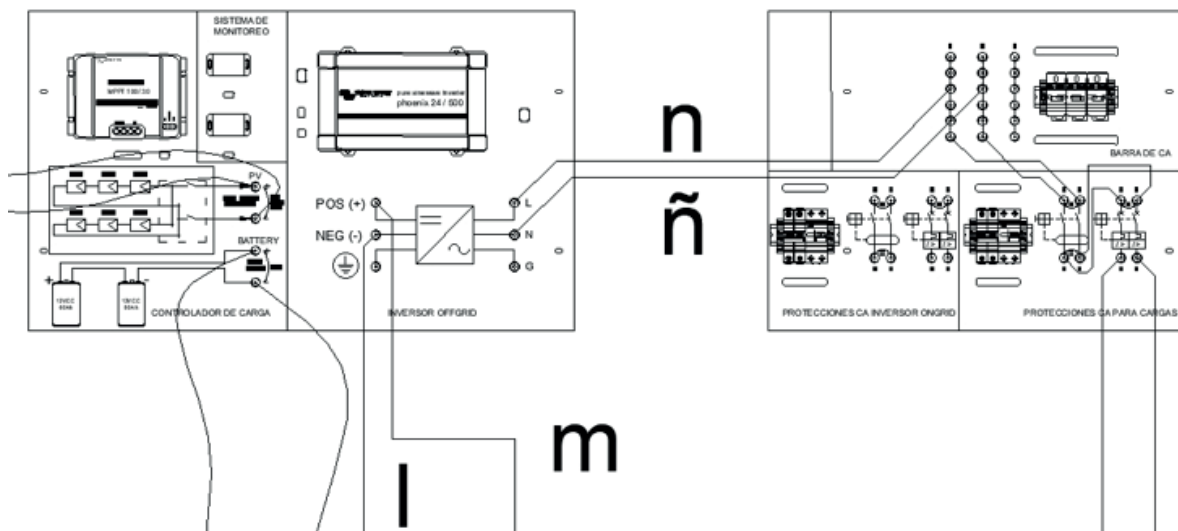


ILUSTRACIÓN 62: ESQUEMAS DE CONEXIONES BATERÍAS SISTEMA OFF GRID

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Efectúe las conexiones desde la salida CA del inversor hacia las cargas de corriente alterna, pasando por las protecciones de CA, de acuerdo al siguiente diagrama:



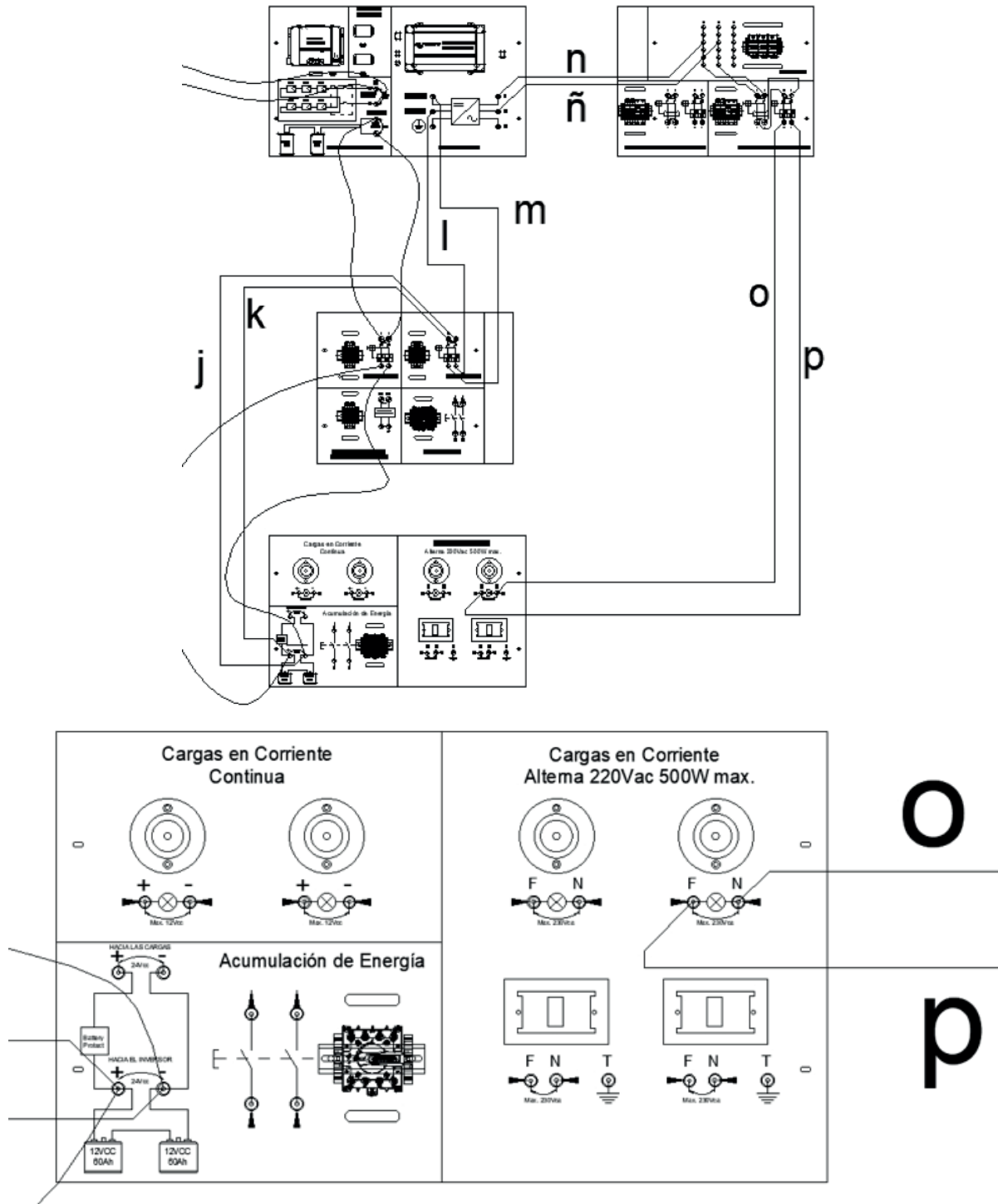


ILUSTRACIÓN 63: ESQUEMAS DE CONEXIONES CA-INVERSOR

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Compare la potencia entregada por el regulador de carga y la potencia entregada por el inversor. ¿Por qué son diferentes?

1.7.3. Sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica domiciliaria (On Grid)

En años recientes, existe un aumento en el uso de sistemas solares conectados a la red. Estos sistemas fotovoltaicos poseen paneles solares que proporcionan parte o incluso la mayoría de la energía requerida durante el día, mientras se sigue conectado a la red pública durante la noche.

Algunos sistemas solares pueden, en algunas ocasiones, producir más electricidad de la que se consume, especialmente en meses de verano. Esta energía extra puede ser inyectada directamente en la red de distribución eléctrica.

Entonces, en un sistema conectado a la red, la electricidad fluye desde y hacia la red, conforme a las condiciones de radiación y a la demanda eléctrica en un momento dado.

La principal ventaja de un sistema fotovoltaico conectado a la red es su simplicidad, costos relativamente bajos de operación y mantenimiento y la reducción de las cuentas de electricidad.

En Chile, gracias al sistema de Net-Billing basado en la Ley de Generación Distribuida (Net-billing) del Ministerio de Energía, los consumidores pueden convertirse en generadores de energía eléctrica. Así, gracias al uso de medidores bidireccionales, al final de cada mes es posible contar con un balance entre la cantidad de energía eléctrica que se ha inyectado a la red, y la cantidad que se ha retirado de la red pública.

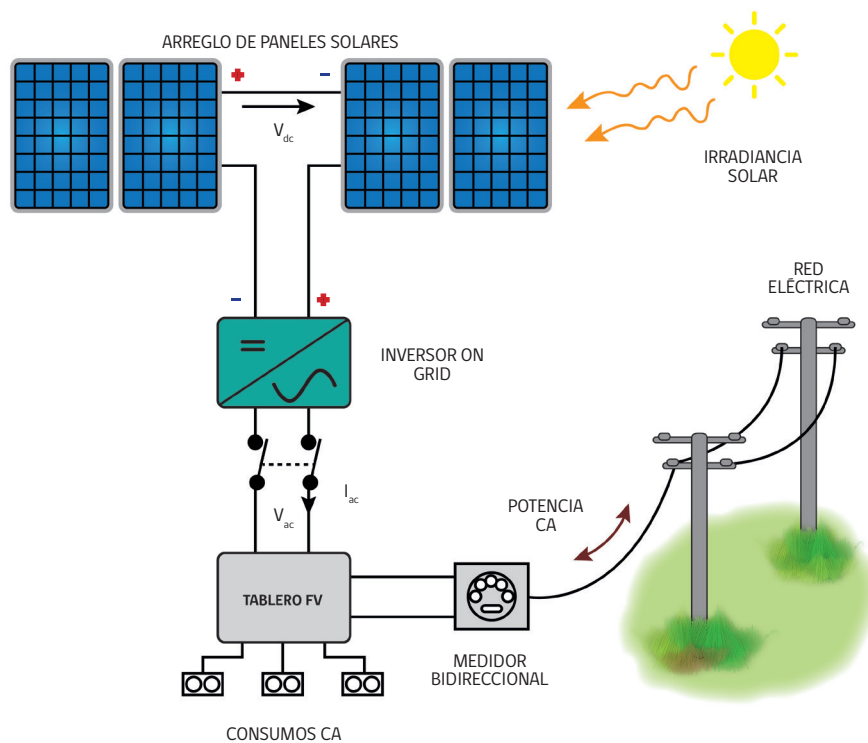


ILUSTRACIÓN 64: SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED SIMPLIFICADA (ON GRID)

Fuente: Elaboración propia, 2018

Los sistemas fotovoltaicos On Grid siempre tienen una conexión a la red pública, vía un inversor adecuado, ya que el panel o el arreglo de paneles sólo entregan Corriente Continua (CC). Además de los paneles solares, los componentes adicionales para instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red son los siguientes:

- **Inversor:** el inversor es la parte más importante de cualquier sistema conectado a la red. Este equipo extrae tanta electricidad CC como sea posible desde el arreglo de paneles fotovoltaicos y la convierte en electricidad CA (corriente alterna) al voltaje y frecuencia adecuados para inyectar en la red o alimentar cargas domésticas. Es importante escoger el inversor de mejor calidad posible, de acuerdo al presupuesto permitido y a las consideraciones de la red.
- **Medidor bidireccional:** el medidor bidireccional es utilizado para llevar el registro del flujo de electricidad desde y hacia la red.
- **Tablero de protecciones CA:** incluye el interruptor magnetotérmico y el interruptor diferencial, instalados dentro de un tablero, en la salida CA del inversor. Estas protecciones del lado CA pueden estar contenidas dentro del TDA (Tablero de Distribución de Alumbrado) existente de la vivienda, en caso de que exista espacio en él, en caso contrario se podrá conectar al TDA a través de otro tablero que podrá ser empleado como Tablero de Distribución Fotovoltaica (TDFV).
- **Red Eléctrica:** finalmente, debemos incluir la red eléctrica para poder conectarnos.

Un sistema fotovoltaico conectado a la red, sin baterías, es la configuración más simple, económica y eficiente al no tener que cargar y mantener un banco de baterías. Es importante destacar que un sistema con conexión a red no es una fuente de potencia independiente, a diferencia de un sistema solar fotovoltaico aislado. Cuando la red eléctrica es interrumpida, la energía del sistema también cesa, incluso cuando el sol esté brillando.

Los mecanismos de monitorización de tensión y frecuencia que habitualmente incorporan todos los inversores, deben ser capaces de detectar que se ha producido una apertura en la red para prevenir su funcionamiento en isla, esto es, que el equipo siga inyectando energía aun cuando la red no esté presente. El funcionamiento en isla puede ocasionar situaciones peligrosas; por ejemplo al aislar el operador de la red de manera intencionada una zona de la red y comprobar que en esa zona sigue existiendo tensión cuando no debería haberla.

La protección encargada de evitar el funcionamiento en isla del inversor es la protección RI. Como se explicó anteriormente, este dispositivo está monitoreando continuamente los parámetros de voltaje y frecuencia de la red de distribución. Al existir alguna interferencia que haga que dichos parámetros se salgan de los límites de ajuste indicados por la normativa vigente, la protección RI desacopla, en forma instantánea el sistema Fotovoltaico de la red de distribución.

ACTIVIDAD 26

Instalación fotovoltaica conectada a la red (On Grid)



- Describa las diferencias entre inversores On Grid con transformador y sin transformador. Discuta sus ventajas y desventajas.
- Indique qué es la "protección de red".
- ¿Cuáles son los tipos de inversor a red?
- ¿Cuál es la principal ventaja de los microinversores?
- ¿Cuál es la cantidad mínima de módulos fotovoltaicos que se puede conectar a un inversor On Grid?
- ¿Cuál es el máximo de módulos fotovoltaicos que se pueden conectar a un inversor On Grid?

Con la siguiente actividad podrá comprobar el funcionamiento de un sistema fotovoltaico On Grid.

ACTIVIDAD 27

Instalación fotovoltaica conectada a la red (On Grid)

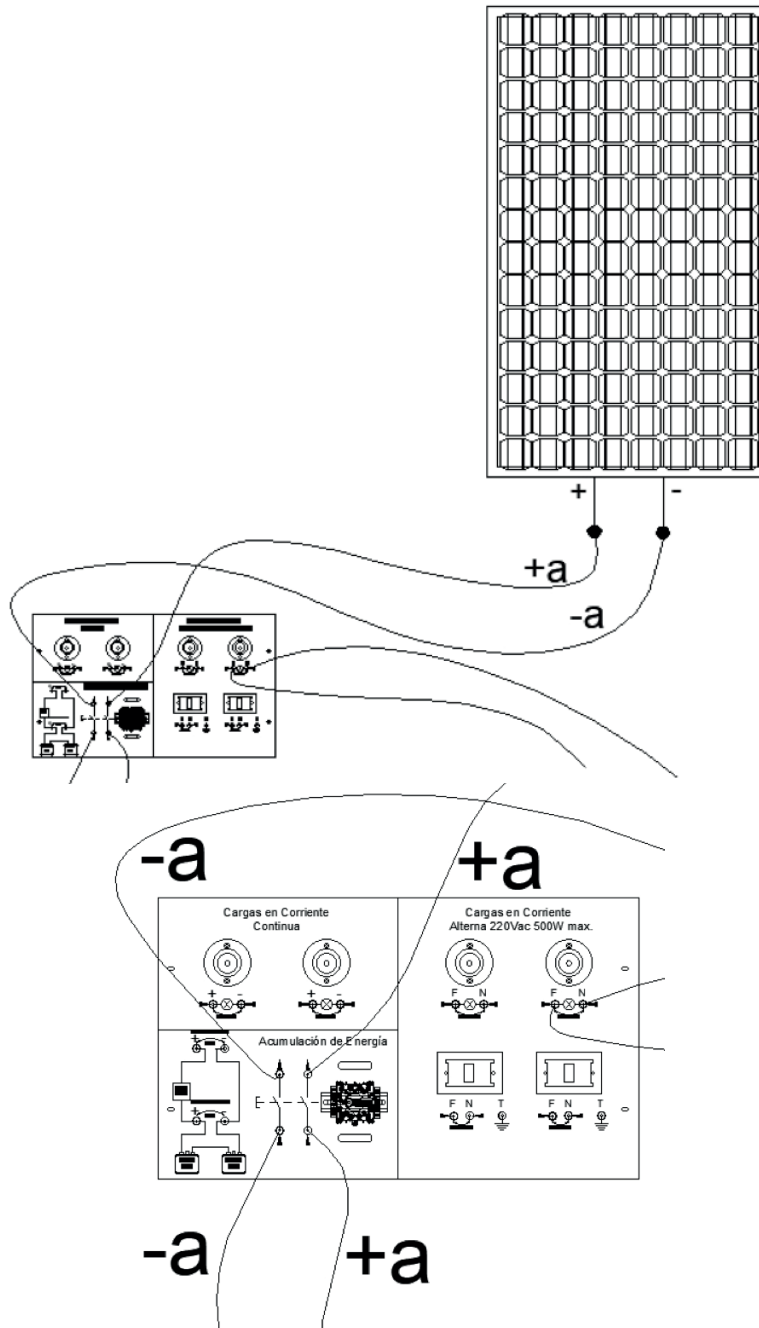


Utilizando el Banco de entrenamiento del laboratorio didáctico, realice las siguientes actividades:

- ¿Qué tensión de CC necesita el inversor string?, ¿y los microinversores?
- ¿Qué se puede observar si el voltaje de entrada CC del inversor string se encuentra dentro del rango del MPPT del inversor y se conecta la tensión CA de la red?
- ¿Qué sucede con el inversor si se desconecta la tensión CA de la red?
- ¿Qué sucede si sombreamos uno de los paneles del string del inversor? Mida la tensión. ¿Qué sucede con la potencia de salida del inversor?
- Compare el punto anterior utilizando los microinversores. ¿Cuál es la diferencia con el caso anterior?
- Dibuje los flujos de corriente en los casos siguientes:
 - Radiación total, inversor conectado a la red, sin consumos conectados.
 - Sin radiación (noche), inversor conectado a la red, sin consumos conectados.
 - Radiación total, inversor conectado a la red, consumos conectados, generación de energía mayor al consumo presente.
 - Radiación total, inversor conectado a la red, consumos conectados, generación de energía menor al consumo presente.

Para las actividades anteriores, realice las siguientes conexiones que se indican:

- Sistema FV On Grid con microinversor.
- Conecte el panel de 250 Wp al microinversor:



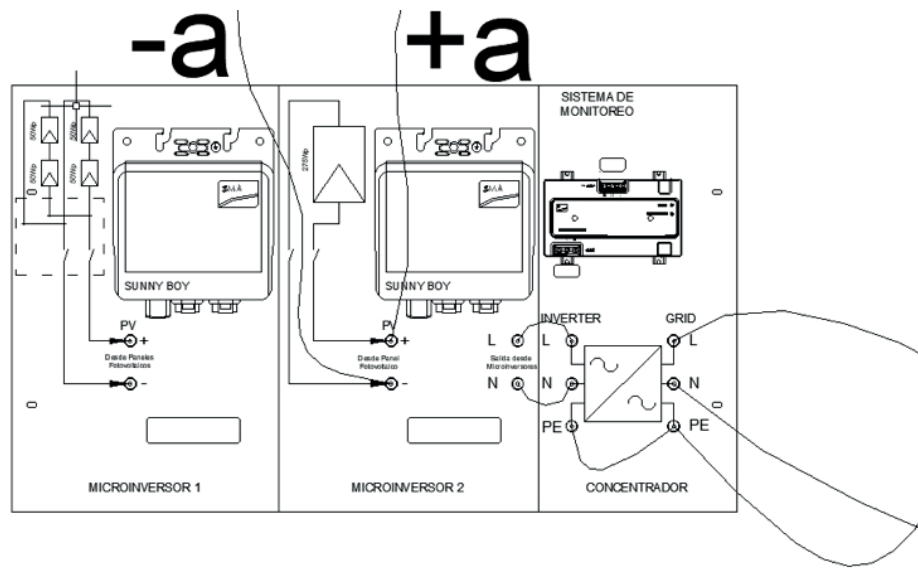


ILUSTRACIÓN 65: ESQUEMAS DE CONEXIONES MICROINVERSOR - SISTEMA ON GRID

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Conecte el microinversor a las protecciones CA:

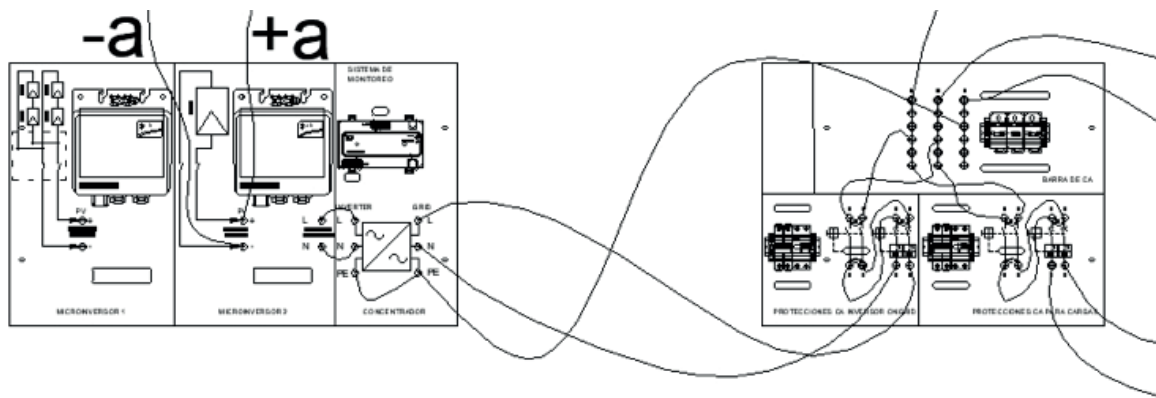


ILUSTRACIÓN 66: ESQUEMA DE CONEXIONES MICROINVERSOR CA

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Conecte las cargas CA a través de las protecciones CA:

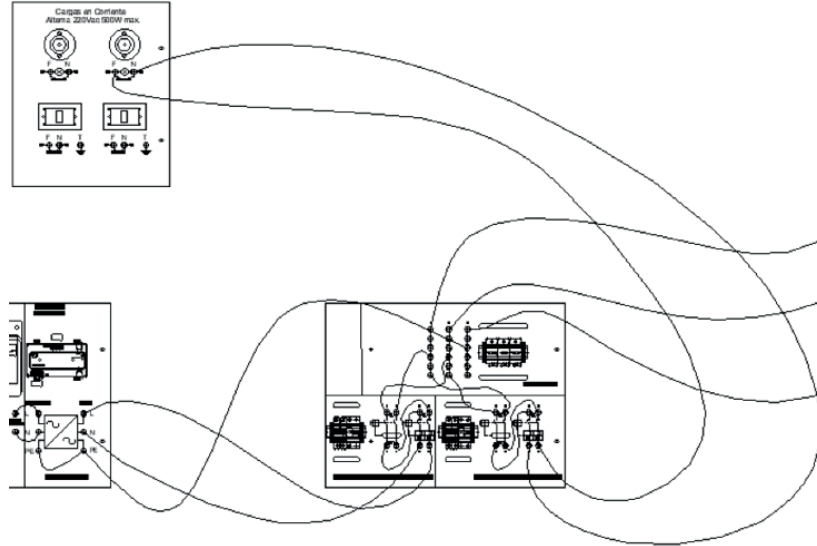


ILUSTRACIÓN 67: ESQUEMA DE CONEXIONES CARGA CA A PROTECCIONES CA

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Conecte el microinversor a la red, mediante las protecciones CA:

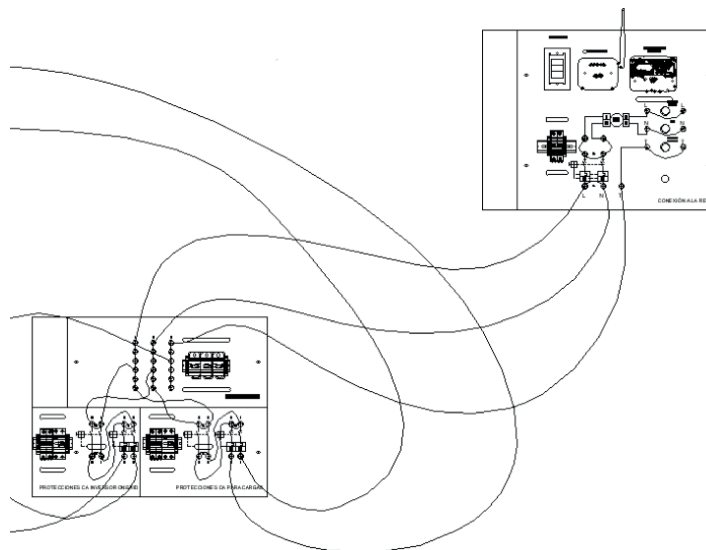


ILUSTRACIÓN 68: ESQUEMA DE CONEXIONES MICROINVERSOR A LA RED

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Sistema FV On Grid con inversor string y microinversor:
 - Conecte es sistema FV, considerando un inversor string y un microinversor, de acuerdo al siguiente diagrama:

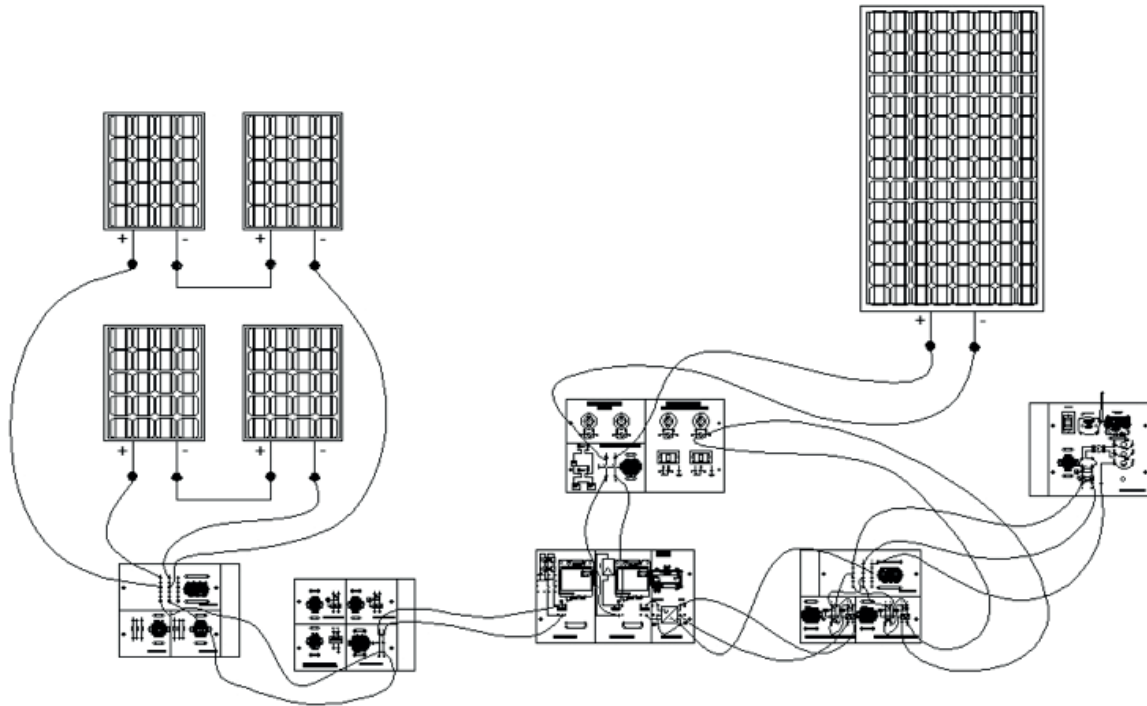


ILUSTRACIÓN 69: ESQUEMA DE CONEXIONES SISTEMA ON GRID Y MICROINVERSOR

Fuente: Elaboración propia, 2018



Módulo N°3: Elaboración de proyectos eléctricos

Sugerencia

Es importante que revise aspectos claves relacionados a:

- Normativa y prevención de riesgo asociados a la instalación eléctrica.
- Elaboración y verificación de un proyecto eléctrico.
- Dimensión y ejecución de canalizaciones, distribución e instalaciones eléctricas.

2.1. PLANO ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO



ANTES DE EMPEZAR LA CLASE:

En la imagen se pueden observar diferentes tipos de árboles. Cada uno tiene una estructura que obedece a patrones propios de su especie. Cada especie tiene "un plano" de la forma que debe tener cada individuo y por eso tienen formas distintas. Esa información se encuentra en el ADN y este es el resultado del proceso de evolución. Cada árbol crece siguiendo las instrucciones que están en su ADN, pero ningún árbol es igual a otro de su misma especie porque cada uno de ellos se adapta a las condiciones particulares del lugar en el que vive.

ACTIVIDAD 28

Comparación dos tipos de árboles y su relación con el aprovechamiento de la energía lumínica



Los invitamos a comparar dos tipos de árboles: una conífera (como pino, ciprés, araucaria, etc.) con una latifoliada (peumo, quillay, algarrobo, laurel, ulmo, radal, etc.) y responder la siguientes preguntas:

- ¿Qué factores explican la forma de cada uno?
- ¿La forma del árbol tiene alguna relación con el aprovechamiento de la energía lumínica?



CONÍFERA



LATIFOLIADA

ILUSTRACIÓN 70: DIFERENCIA DE FOLLAJE ENTRE CONÍFERAS Y LATIFOLIADAS

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.1. Interpretación de los planos y esquema de una instalación fotovoltaica

Un proyecto eléctrico fotovoltaico debe basar su diseño en la siguiente normativa, para que cuente con las condiciones mínimas de seguridad.

Para proyectos de baja tensión considere las siguientes normativas e instructivos o las disposiciones que las reemplacen

- NCh Elec. 4/2003
- NCh Elec. 2/84
- RGR N° 01/2017
- RGN N° 02/2017

RECUERDA

Proyecto Eléctrico Fotovoltaico está conformado por:

- Memoria explicativa.
- Planos eléctricos/planos recinto.
- Informe de ensayos y mediciones (depende de la potencia).
- Memoria de cálculo estructural (depende de la potencia).
- Pauta de cotejo de autoevaluación realizado por el instalador (depende de la potencia).

De la normativa indicada, la RGR N°01/2017, cuya materia es el “Procedimiento de comunicación de energización de generadoras residenciales”, nos da las referencias y lineamientos para la elaboración de la planimetría que componen un proyecto de instalaciones fotovoltaicas residenciales.

NOTA

Revise el ANEXO 03, donde se encuentra la Norma Técnica RGR N°01/2017. En el numeral 5.2.7., se hace referencia al tipo de planimetría exigida por la SEC en detalle.

Si bien la normativa hace referencia a la planimetría exigida, en ella no está estandarizada o normalizada la representación de todos los componentes o elementos fotovoltaicos a detalle. En este contexto y a modo de ejemplo referencial, revisaremos la planimetría de un proyecto de sistema fotovoltaico residencial, identificando algunos de los puntos indicados en RGR N°01/2017 que aplican para la elaboración y presentación de planos frente a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

Proyecto: Es una instalación domiciliar de una potencia de 1,5 kW, conformada por 6 paneles de 260 Wp cada uno, conectados a un inversor String de 1,5 kW.

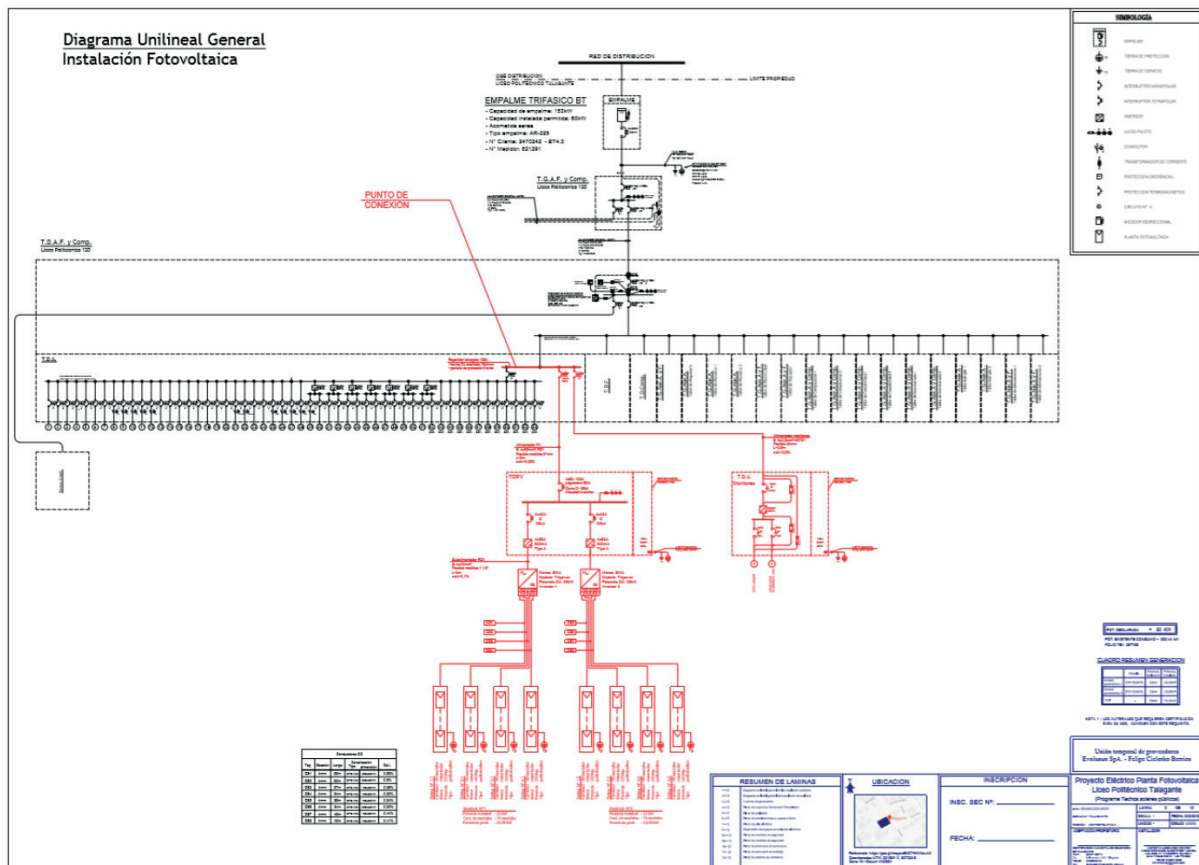


ILUSTRACIÓN 71: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

En base al plano anterior, se identifican las exigencias más importantes que deben ser consideradas en la confección de planos de generadores fotovoltaicos residenciales, indicadas por las SEC:

- **Ubicación Geográfica:** indicación de las coordenadas geográficas y plano de emplazamiento.

Para la ubicación de las coordenadas geográficas en coordenadas UTM, se puede consultar la siguiente página web: www.mundivideo.com/coordenadas.htm

En esta página, se ingresa la dirección de la instalación, y con ello se obtienen los datos requeridos de las coordenadas X, Y, Zona y Datum.



ILUSTRACIÓN 72: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

- Nombre de perfil de protecciones de red chileno y si el inversor da acceso a los parámetros de configuración de ajuste: Es importante constatar con el instalador autorizado o el proveedor del inversor, que este permite verificar la configuración de los ajustes según la norma chilena.
- Cuadro de generación de la unidad generadora fotovoltaica (arreglo fotovoltaico).
- Diagrama unilíneal: en este se debe identificar lo siguiente:
 - Tipo de empalme.

En el tipo de empalme es necesario indicar: potencia, corriente nominal, curva y capacidad de la protección del medidor.

- Datos del tablero general.

En el tablero indicar:

- Cantidad y tipo de protecciones, valor de la corriente nominal, nivel de corriente de ruptura y curvas de operación.

SERIE 1. ORIENTACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA FOTOVOLTAICO

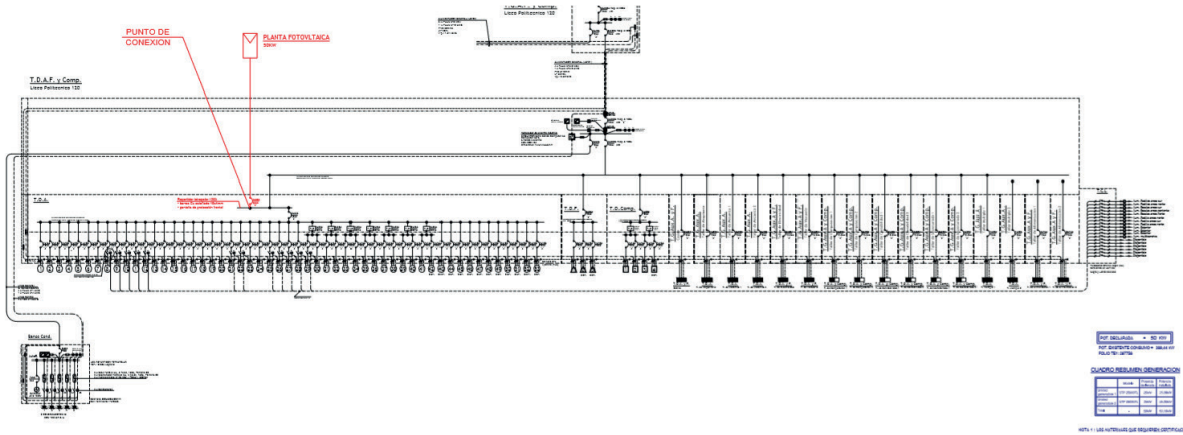


ILUSTRACIÓN 73: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

CUADRO DE UNIDAD DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE CC

UG N°	MODULOS O PANELES				STRING O CADENA				CANALIZACIÓN DE STRING				UNIDAD DE GENERACIÓN (UG)			INVERSOR		UBICACIÓN											
	N° STRING	TIPO DE MÓDULO	POTENCIA MAX (W)	CORRIENTE MAX (A)	VOLT DE CIRCUITO ABIERTO VOC (V)	CORRIENTE CORTO-CIRCUITO	CORRIENTE MAX INVERSA	CANT MAX. MÓDULOS	VOLT MAX. STRING (V)	CORRIENTE MAX. STRING (A)	POTENCIA MAX (W)	AUTOMATO FUSIBLE	DIODO DE BLOQUEO	TIPO	SECCIÓN	TIPO	SECCIÓN MM2		CORRIENTE MAX (A)	LARGO	CAIDA DE TENSIÓN (V)	POTENCIA MAX PEAK (W)	CORRIENTE MAX. STRING (A)	VOLTAJE MAX. STRING (V)	V (V)	I (A)	POTENCIA NOM (W)	VOLTAJE CA (V)	TIPO (STRING CENTRAL O)
1	1	JUNCO SOLAR POLICRISTALINO JKM260P-P-60	260	8,37	38,1	9,98	20	6	228,6	8,98	1560	N/A	N/A	TUBERÍA METÁLICA (TM)	25 mm	H1Z2Z2-K	4	55	11	0,15 V 0,20%	1560	8,37	248,8	500	28	1560	220	CENTRAL	OMMC NEW ENERGY OMNIC SOL - 1.5 K - TL

ILUSTRACIÓN 74: CUADRO DE GENERACIÓN DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Este cuadro debe indicar los valores de potencia, voltaje, corriente, sección, tipo de conductores, protecciones y elementos eléctricos que forman parte del generador fotovoltaico. Es decir: módulos o paneles, String o Cadena, Canalización CC.

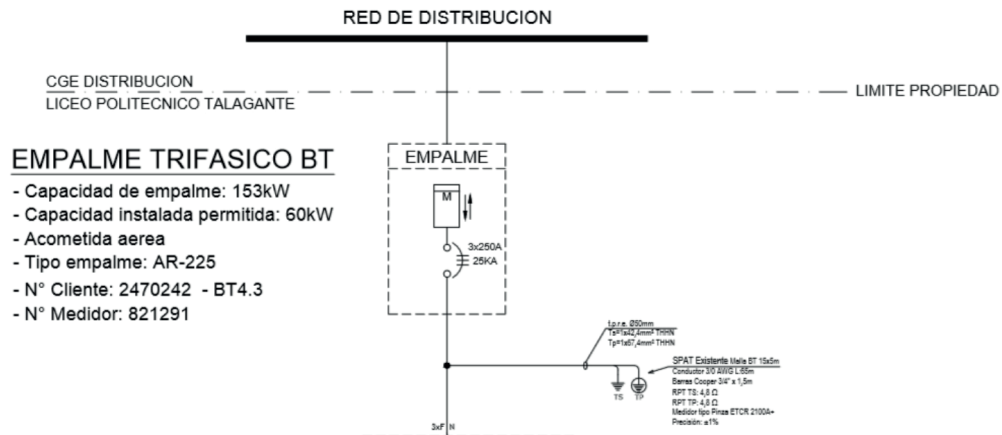


ILUSTRACIÓN 75: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Detalle de las protecciones pertenecientes al generador fotovoltaico residencial:

- Se deben detallar las protecciones pertenecientes al generador fotovoltaico, considerando sus características técnicas, tipo, valores y cantidad.
- Es importante recordar que para las instalaciones fotovoltaicas residenciales, se deben considerar interruptores termomagnéticos bipolares y los interruptores diferenciales deben de ser del tipo A o B (quedan excluidos los del tipo CA, usados comúnmente).

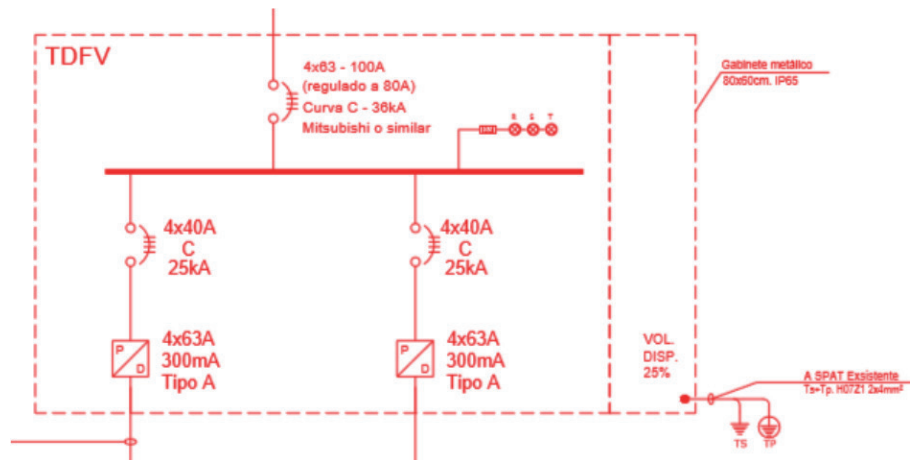


ILUSTRACIÓN 76: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Emplazamiento total de la instalación:

- Es importante destacar la ubicación de cada uno de los componentes como ser: generador, inversor, sistema de puesta a tierra, tablero fotovoltaico y de conexión, etc.
- En este segmento de la planimetría es importantes identificar el sistema de puesta a tierra que existe en la casa y al cual se podrán unir el sistema fotovoltaico en caso de que éste cumpla con los valores óhmicos establecidos en la normativa.

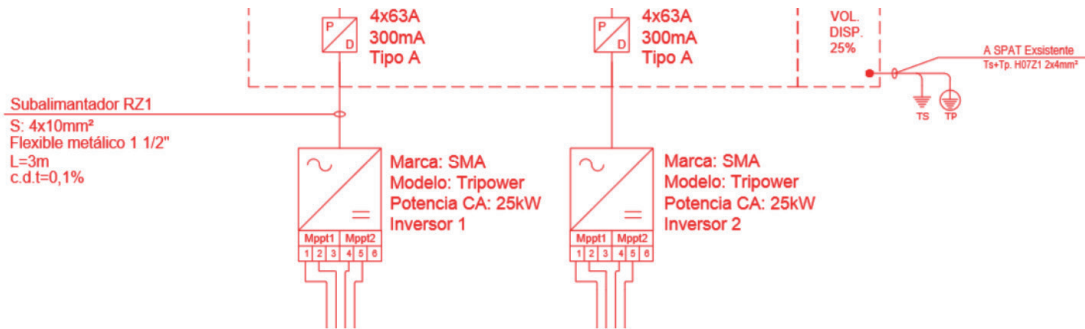


ILUSTRACIÓN 77: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Cuadro de caídas de tensión:

- En este cuadro, se deben registrar todas las caídas de tensión desde el empalme o punto de conexión a la red hasta el generador fotovoltaico.

CUADRO DE CAIDAS DE TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN UG EN CA								
TRAMOS DE ALIMENTADOR	CAP DE PROTECCIÓN (UG)	TENSIÓN DE UG EN CA (220 O 380V)	CONDUCTOR			TIPO DE CANALIZACIÓN	CAIDA DE TENSIÓN	
			TIPO	SECCIÓN (MM2)	LONGITUD (M)		V	%
UG - TDA	2 X 25	220	EVA	2,5	1	EMT 25 MM	0,13	0,05
TDA - TG	1 X 25	220	EVA	4	7	EMT 25 MM	0,7	0,16
TG - EMPALME	1 X 25	220	EVA	4	0,5	DENTRO DE TABLERO	0.13	0,05

ILUSTRACIÓN 78: CUADRO DE CAÍDAS DE TENSIÓN

Fuente: Elaboración propia, 2018

NOTA

la norma establece que se considera una caída de tensión máxima admisible de 1,5% en el tramo de CC y de 3% máximo en el tramo CA.

Generador fotovoltaico.

- Es importante identificar el número total de módulos y el número de Strings.

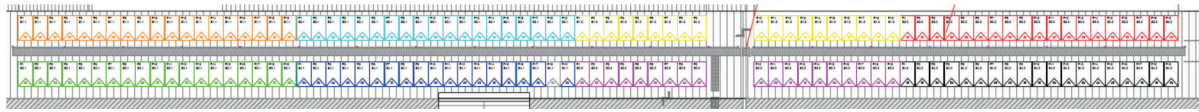


ILUSTRACIÓN 79: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Destacar el ángulo de inclinación de los paneles:

- String: Es necesario especificar la sección y aislación del cable del String.

En el caso de que se utilicen fusibles y diodos externos, se debe indicar su especificación técnica:

- Detalles eléctricos del generador.

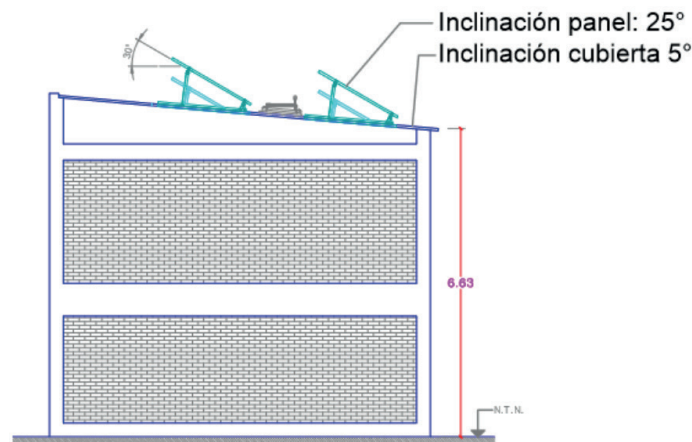


ILUSTRACIÓN 80: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

SERIE 1. ORIENTACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA FOTOVOLTAICO

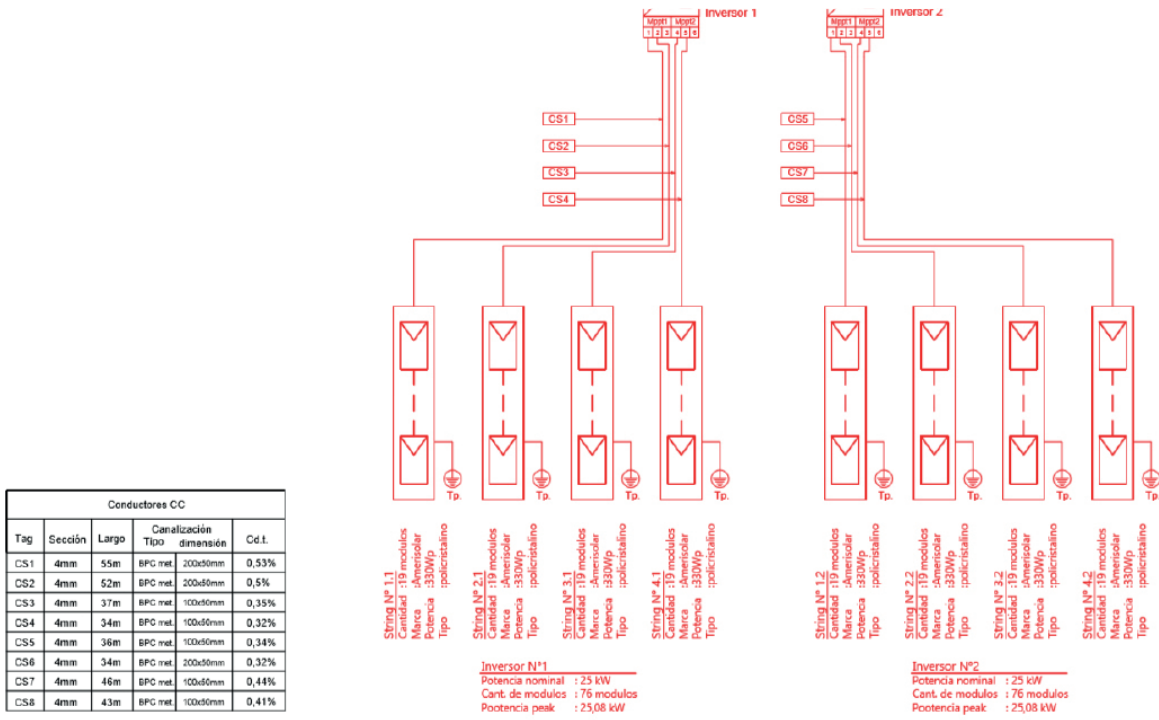


ILUSTRACIÓN 81: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

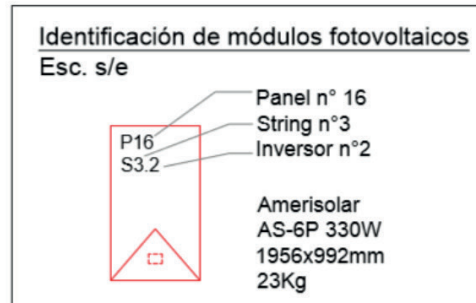
UG N°	String N°	Módulos						String					Inversor String		Canalización CC					Ubicación					
		Tipo Módulo	Pot. Máx. (W)	Corriente (Impp)	Volt. de circuito abierto Voc	Corriente de corto circuito	Corriente Máx. inversa (A)	Cantidad de módulos	Voltaje Voc (V)	Corriente (Impp)	Potencia Máx. (W)	Fusible corriente inversa (A)	Diodo de bloqueo inverso (V)	Rango entrada CC		Potencia entrada (W)	Ducto		Conductor						
														V (V)	I (A)		Tipo	Sección	Tipo aislación		Sección	I Máx. (A)	Largo (m)	c.d.t. Máx.	
	1.1	Poli cristalino	330	8,74	46,48	9,26	15	19	883,12	9,26	6270	15	1000	390-800	33	1	25550	BPC	200x50	Goma libre de halógenos	4mm ²	9,3	55	0,53%	Sobre cubierta de Liceo

ILUSTRACIÓN 82: CUADRO Y PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, 2018

Se debe destacar:

- Del cable principal del generador, sección y tipo.
- De los paneles, los datos técnicos y sus cajas de conexión, indicando su grado IP.



Dimensiones módulo FV

Esc. s/e

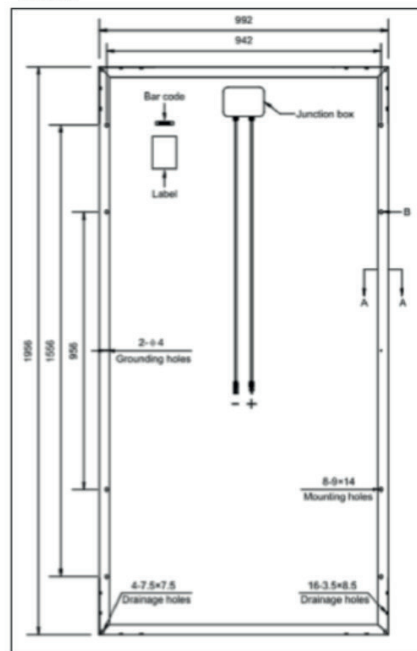


ILUSTRACIÓN 83: DATOS TÉCNICOS DEL PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Detalles eléctricos del convertidor:

- Especificar el tipo de inversor a utilizar: microinversor, inversor String.
- También señalar la cantidad de trackers disponibles y los que están en uso, asociados al inversor String.

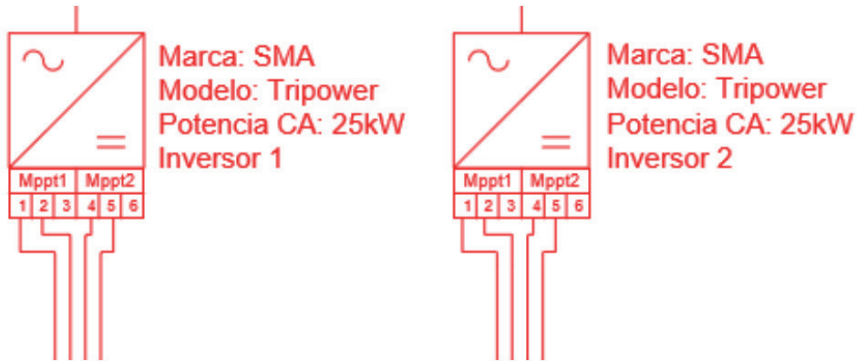


ILUSTRACIÓN 84: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

Puesta a tierra y protección de sobretensión:

- Indicar la sección del cable de tierra.

Sistema CA:

- Señalar el tipo de canalización, sección, longitud, etc. del tramo CA.

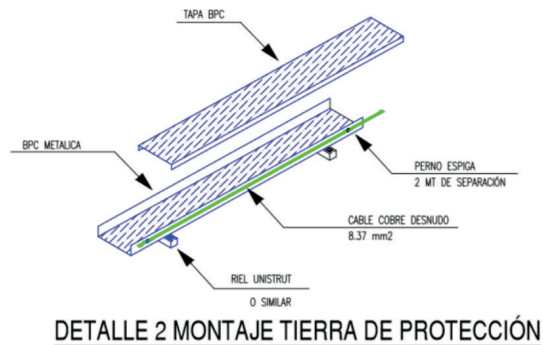


ILUSTRACIÓN 85: PLANIMETRÍA DE PROYECTO FOTOVOLTAICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

2.1.2. Ejemplos de planimetría para un sistema fotovoltaico residencial

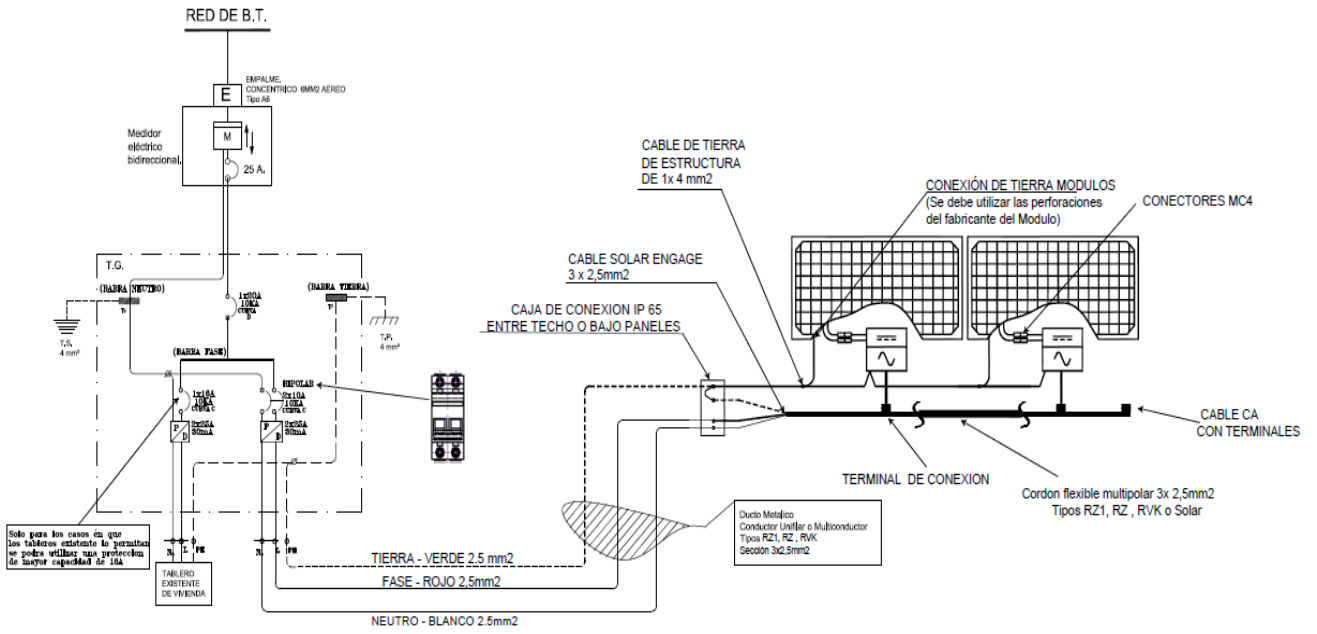


ILUSTRACIÓN 86: EJEMPLO DE PLANO ELÉCTRICO DEL PROYECTO SOLAR FOTOVOLTAICO

Fuente: SEC, 2018

SERIE 1. ORIENTACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA FOTOVOLTAICO

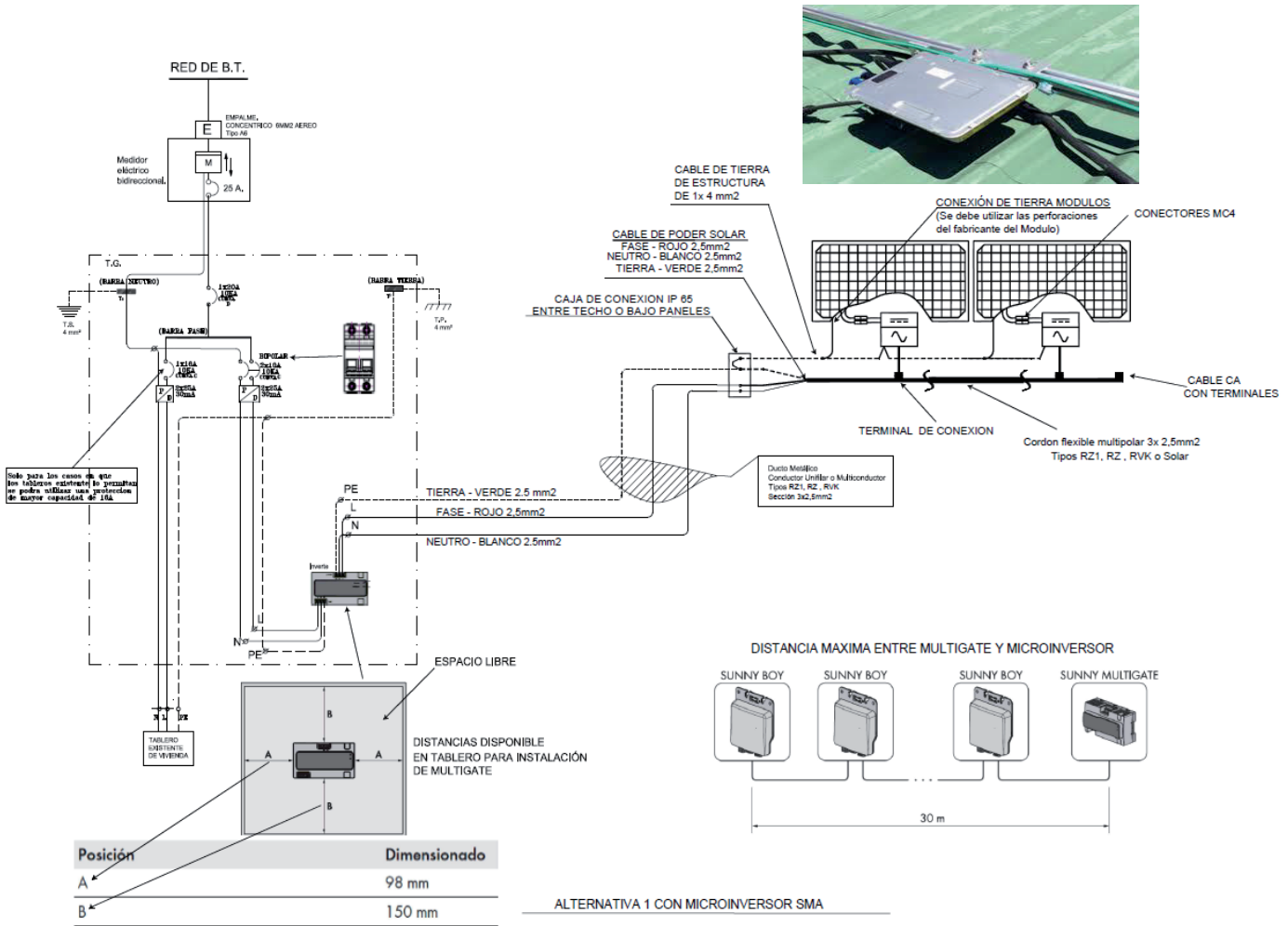
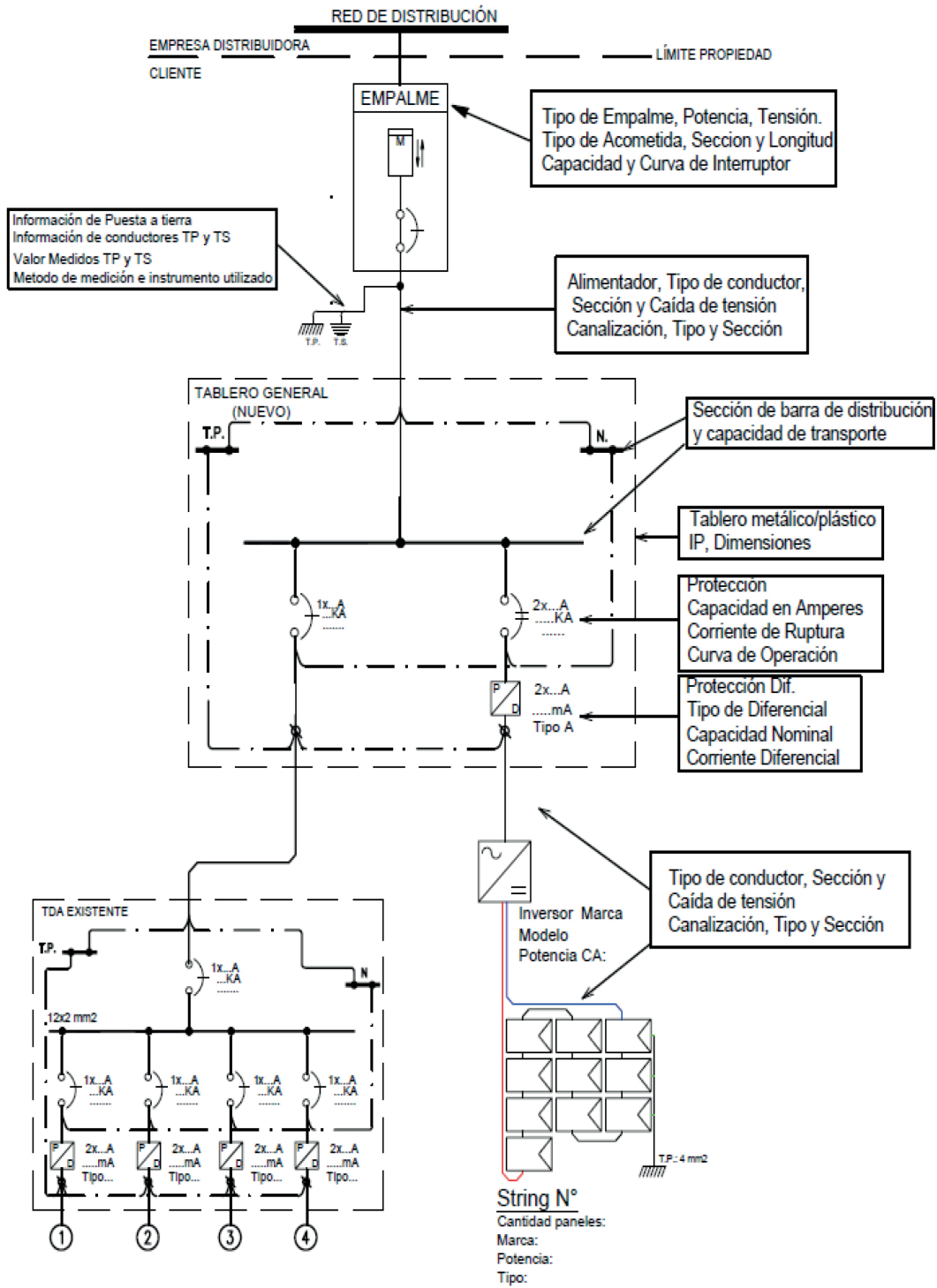


ILUSTRACIÓN 87: EJEMPLO DE PLANO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CON MICRO INVERSOR

Fuente: SEC, 2018



ILUSTRACION 88: EJEMPLO DE PROTECCIONES Y DIFERENCIALES

Fuente: SEC, 2018

2.1.3. Cubicación de materiales

Para cubicar los materiales se utiliza una hoja de cálculo Excel, en ella se deberá indicar de manera clara el nombre y la cantidad de cada uno de los equipos, materiales y accesorios. Se requiere contar, al menos, con las cantidades de:

- Paneles.
- Inversores.
- Tableros eléctricos CC y CA, con una descripción de componentes principales.
- Metros lineales de cable según tipo.
- Metros lineales de ductos, bandejas y otras canalizaciones, según tipo.
- Equipos de control y protecciones accesorias.
- Estructuras de soporte.
- Equipos de seguridad: pasillos técnicos, cuerdas de vida y otros.
- Fundaciones (cantidad de zapatas, o metros cúbicos de hormigón).
- Metros lineales de zanjas.
- Número de cámaras eléctricas según tipo.

A continuación te proponemos realizar una actividad que tiene como propósito reforzar la comprensión del contenido teórico, relacionado a la correcta interpretación del plano eléctrico de un proyecto fotovoltaico On Grid y Off Grid, realizando análisis de la información de planimetría de manera que permita contestar un cuestionario.

ACTIVIDAD 29

Interpretación de plano eléctrico de un proyecto fotovoltaico On Grid y uno Off Grid, utilizando el programa CAD



Revise el plano eléctrico entregado por el docente utilizando el programa CAD y responder lo siguiente:

1. Identifique los aspectos normativos vinculados a la RGR N°01/2017.
2. Identifique y describa la simbología eléctrica fotovoltaica que se encuentra en el plano:
 - Ubicación geográfica.
 - Cuadro de generación de la unidad generadora fotovoltaica.
 - Diagrama Unilineal.
 - Cuadro de caídas de tensión.
 - Generador fotovoltaico.
 - String.
 - Detalles eléctricos del generador.
 - Detalles eléctricos del convertidor.
 - Puesta a tierra y proyección de sobretensión.
 - Sistema CA.

La siguiente actividad te permite realizar el análisis de un montaje fotovoltaico ejecutado por el docente en el Banco de entrenamiento del laboratorio didáctico, el cual tendrás que representar y dibujar con la simbología correcta utilizando el programa CAD.

ACTIVIDAD 30

Dibujo de un proyecto eléctrico fotovoltaico



Dibuje un plano eléctrico de acuerdo a las conexiones realizadas en el banco de entrenamiento, por el docente.

Práctica: Utilizando el banco de entrenamiento y componentes, realice las siguientes actividades:

Observe el banco de entrenamiento identifique:

- Si es un sistema Fotovoltaico On Grid u Off Grid.
- Los elementos y conexiones realizadas.
- Verifique si son correctas. Si no lo son, realice la conexión correspondiente según normativa y conocimientos previos.
- Dibuje el plano eléctrico de acuerdo a las conexiones realizadas por el docente utilizando el programa CAD, con la simbología y de acuerdo a la normativa existente.

2.2. PLANO ESTRUCTURA DE MONTAJE Y ANCLAJE

2.2.1 Características de la estructura de montajes

El generador fotovoltaico posee la característica de adaptarse a diferentes superficies y ángulos, ya sea suelo, techo o a la estructura de un edificio en el caso de integración arquitectónica. Se debe considerar la estructura de montaje y los anclajes necesarios para mantener la estructura firme en su posición y resistir los esfuerzos a los que se puede encontrar sometido el panel. Por ejemplo cargas de tracción, viento, nieve.

Es importante cumplir con los requerimientos establecidos en la norma NCh 3357 "Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales", NCh 432 "Diseño Estructural - Carga de viento" además, se debe satisfacer la normativas vigente en Chile, en cuanto a edificación y diseño estructural.

Un valor referencial del peso de los paneles fotovoltaicos y su estructura de soporte son 20 kg/m².

Hay que resguardar que la techumbre, en la cual se va instalar un sistema fotovoltaico, pueda cumplir con el requerimiento anteriormente expuesto. En caso de que no se pueda corroborar fehacientemente que la techumbre pueda soportar la carga adicional del sistema fotovoltaico, se deben contratar los servicios de un profesional competente que realice los cálculos estructurales correspondientes y verifique que el techo podrá soportar la carga extra. De la misma manera verificar que se cuenta con una manera segura de acceso a la instalación para efectos de diseño, montaje y mantenimiento.

CONCEPTO CLAVE

La Superintendencia de electricidad y Combustible establece que es obligatoria la presentación de una memoria de cálculo de estructura, sólo para aquellos sistemas iguales o mayores a 30 kW instalados sobre la techumbre. Para los proyectos menores a 30 kW, esta exigencia no aplica.

El detalle de la exigencia está contenida en la instrucción técnica RGR N°02/2017.

La Instrucción Técnica RGR N°02/2017, “Diseño y Ejecución de las Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a Redes de Distribución” en el numeral 7. Estructuras; entrega los lineamientos solicitados para su utilización. Dentro de los puntos mencionados, podemos citar los siguientes:

- La estructura de soporte de la unidad de generación fotovoltaica debe ajustarse a la superficie de la instalación, ya sea horizontal o inclinada, y el método de anclaje deberá soportar las cargas de tracción y corte, mantener la estructura firme y evitar posibles volcamientos por la acción de sismo, viento o nieve.
- El diseño y la construcción de la estructura que soporta la unidad de generación fotovoltaica, el sistema de fijación de módulos fotovoltaicos y los anclajes a la estructura existente deberán:
 - Cumplir con las normativas vigentes y aplicables al diseño estructural de cualquier estructura, tanto el anclaje como la misma estructura de soporte.
 - Permitir las dilataciones térmicas necesarias, evitando transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos fotovoltaicos, siguiendo las indicaciones del fabricante.
- La estructura debe ser metálica y se protegerá contra la acción de los agentes agresivos en el ambiente y/o corrosivos, garantizando la conservación de todas sus características mecánicas y de composición química.
- La totalidad de la estructura de la unidad de generación fotovoltaica se conectará a la tierra de protección.
- Se deberán tomar los resguardos para prevenir la corrosión electroquímica entre metales diferentes.
- En ambientes corrosivos, para los sistemas de fijación, estructuras y paneles fotovoltaicos, deberán utilizarse materiales resistentes a la corrosión, adecuados para la vida útil del sistema, sólo se podrá utilizar aluminio anodizado o una combinación de metales de aluminio y aceros inoxidable.

2.2.2. Tipos de estructuras de soporte

En general, las estructuras de soporte y sus especificaciones son entregadas por proveedores expertos en su fabricación, los cuales podrán presentar una memoria de cálculo estructural indicando el cumplimiento de la normativa chilena para este efecto. Por lo general, las estructuras de soporte son fijas, como se muestra en la figura:



ILUSTRACIÓN 89: DISTINTOS TIPOS DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Fuente: Recuperado Mayo, 2018 de: Manual de diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos conectados a Red/ Corporación de Desarrollo Tecnológico.

Para proyectos residenciales donde los sistemas fotovoltaicos son instalados en los techos, las estructuras utilizadas podrán ser paralelas al techo respetando el ángulo del mismo. En el caso de techo plano deben ser montados en pórticos triangulares con ángulo predefinido según proyecto.

Las estructuras deben ser armadas en terreno. Para ello, el fabricante deberá entregar la estructura distribuida en:

- Pórticos o dinteles armables (en el caso de estructuras en ángulo).
- Barras o travesaños de apoyo para los paneles.
- Fijaciones o grapas intermedias y finales para amarrar los paneles a la estructura.
- Anclajes de la estructura a la superficie de la techumbre.
- Tornillos, tuercas y golillas que permiten la unión entre los distintos elementos.

RECUERDA

Es importante destacar que mientras menos se intervenga el techo, mejor. Esto significa que debemos tener especial cuidado en sellar adecuadamente cualquier orificio que se haya ejecutado para la fijación de la estructura a la techumbre, con el fin de prevenir filtraciones hacia el interior.

ORIFICIO DE TECHUMBRE SIN SELLAR



MATERIAL IMPERMEABILIZANTE ENTRE TECHUMBRE Y ESTRUCTURA DE SOPORTE



ILUSTRACIÓN 90: ANCLAJE DE ESTRUCTURAS AL TECHO

Fuente: Descargado Mayo, 2018 de: Guía de buenas y malas prácticas de instalaciones fotovoltaicas sobre techos. Documento anexo a la guía check list pre-fiscalización TE4

A continuación, algunos ejemplos de estructuras con ángulo definido para techos planos y sus componentes:

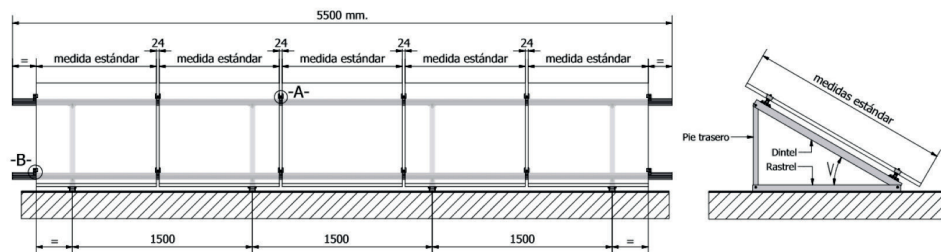


ILUSTRACIÓN 91: VISTA ELEVACIÓN ESTRUCTURA

Fuente: Elaboración propia, 2018

SERIE 1. ORIENTACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA FOTOVOLTAICO

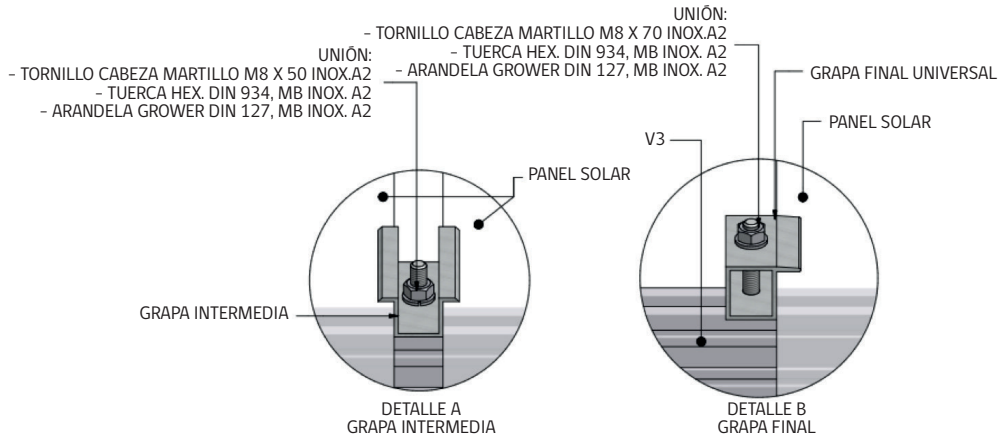


ILUSTRACIÓN 92: DETALLE DE FIJACIONES O GRAPAS INTERMEDIAS Y FINALES DE LA ESTRUCTURA

Fuente: Elaboración propia, 2018

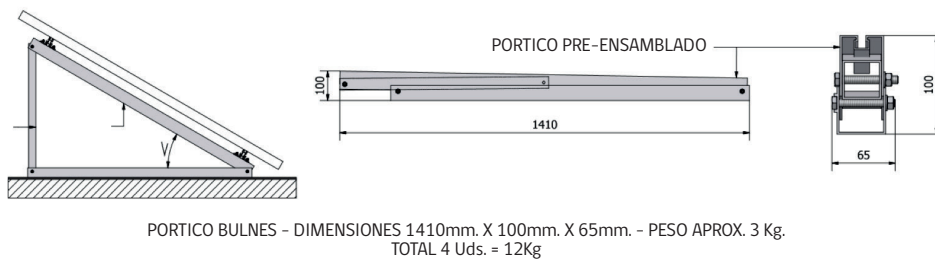


ILUSTRACIÓN 93: DETALLE DEL PÓRTICO

Fuente: Elaboración propia, 2018

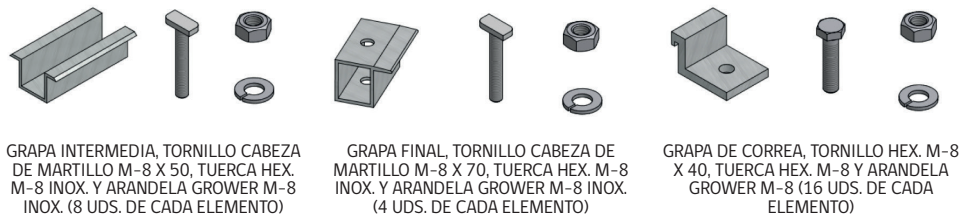


ILUSTRACIÓN 94: DETALLE DE PERNERÍA DE FIJACIÓN DE PANELES

Fuente: Elaboración propia, 2018

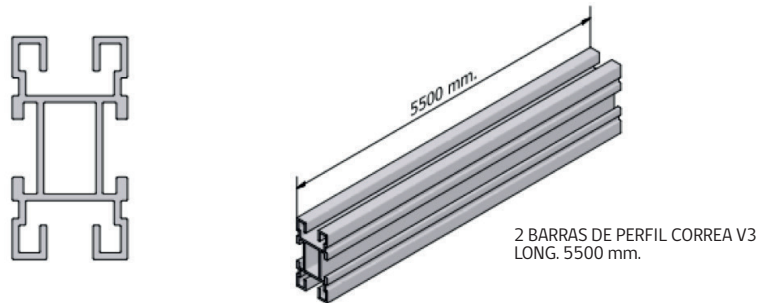


ILUSTRACIÓN 95: DETALLE DE BARRAS TRANSVERSALES PARA SOPORTES DE PANELES

Fuente: Elaboración propia, 2018

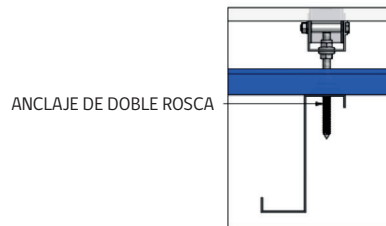


ILUSTRACIÓN 96: EJEMPLO DE FIJACIÓN A CUBIERTA

Fuente: Elaboración propia, 2018

ACTIVIDAD 31

Cubicación de una instalación fotovoltaica



- Cubique el material eléctrico y memoria de cálculo según planimetría, de un sistema fotovoltaico On Grid y uno Off Grid.
- Presente una planilla Excel con la cubicación de materiales de acuerdo al proyecto eléctrico para un sistema fotovoltaico On Grid y Off Grid.
- Redactar una memoria de cálculo en Word en base a los cálculos realizados en el Excel.

Se proponen dos actividades prácticas que se llevarán a cabo en el Banco de entrenamiento y en la techumbre práctica del laboratorio didáctico.

ACTIVIDAD 32

Cubique y dibuje un proyecto, según el tipo de techo



Según el tipo de techo, defina el tipo de anclaje y estructura a utilizar. Dibuje y dimensione.

Indique:

- Las dimensiones y materiales de los perfiles utilizados.
- La forma de anclaje (dimensiones, peso del lastre, diámetro y largo de pernos, materiales de los elementos utilizados, etc.).
- Otra información relevante, como por ejemplo el sistema de impermeabilización (cuando la instalación fotovoltaica se encuentra sobre una cubierta) y el torque empleado para apretar las tuercas.

La siguiente actividad tiene como propósito reforzar la comprensión mediante la indagación de información y elaboración de un informe escrito.

ACTIVIDAD 33

Estructuras de montajes que incorporan seguimiento al trayecto del sol



Investigue:

Investigue sobre las estructuras de montajes que incorporan seguimiento (tracker) del trayecto del sol, ya sea en uno o dos ejes. Estas se utilizan para maximizar la captación de radiación solar durante el día.



ILUSTRACIÓN 97: SISTEMA SOLAR TRACKER

Fuente: <https://energetskaeifikasnost.info/sistemi-za-pratene-na-sonchevoto-dvizhene-kaj-solarni-sistemi/>



INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- Guía de buenas y malas prácticas de instalaciones fotovoltaicas sobre techos, del Programa Techos Solares Públicos del Ministerio de Energía, disponible en: www.minenergia.cl/techossolares/wp-content/uploads/2017/02/Guia-de-buenas-y-malas-practicas-de-instalaciones-fotovoltaicas.pdf
- Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos del Programa Techos Solares Públicos del Ministerio de Energía, disponible en: www.minenergia.cl/techossolares/wp-content/uploads/2017/04/Guia_OperacionMantenimiento_0517t.pdf

CAPÍTULO

3

Módulo N°4: Mantenimiento de maquinas, equipos y sistemas eléctricos



ANTES DE EMPEZAR LA CLASE:

Tal como los paneles fotovoltaicos, las plantas tienen estructuras en las hojas, con las que son capaces de captar la energía solar y transformarla en otro tipo de energía. Este proceso se llama fotosíntesis. La capacidad que tiene una planta para realizar la fotosíntesis depende de la exposición a la luz que ella tiene y de las condiciones en las que ella se encuentra. La planta es un ser vivo, por lo tanto es capaz de realizar funciones de mantención por sí misma, como cambiar periódicamente sus hojas.

Las plantas realizan fotosíntesis y hacen que la energía quede almacenada en compuestos orgánicos.

Solo capturan longitudes de onda entre 400 y 700 nanómetros lo que representa apenas un 50% de la luz solar que les llega.



ILUSTRACIÓN 98: COMPORTAMIENTO EN LAS PLANTAS

Las celdas fotovoltaicas transforman parte de la luz solar en electrones (energía eléctrica).

Las celdas fotovoltaicas son capaces de absorber fotones en un rango mayor en los extremos del espectro electromagnético, como son el infrarrojo y el ultravioleta.

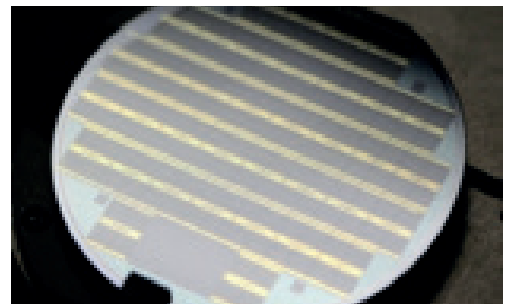


ILUSTRACIÓN 99: COMPORTAMIENTO EN LA CELDA FOTOVOLTAICA

ACTIVIDAD 34

Similitudes y diferencias entre una planta y un panel fotovoltaico



Complete el cuadro comparativo entre las similitudes y diferencias entre una planta y un panel fotovoltaico.

	PLANTA	PANEL FOTOVOLTAICO
SIMILITUDES		
DIFERENCIAS		

¿Qué conclusión puede deducir del análisis? Redacte un párrafo.

3.1. MANTENIMIENTO PARA LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

3.1.1. Evaluación del sistema fotovoltaico

Las instalaciones solares fotovoltaicas son inversiones de largo plazo, por lo cual el mantenimiento preventivo y correctivo es necesario para extender su vida útil. La frecuencia de evaluación y mantención sugerida es de al menos dos veces al año, en la cual se revisarán los componentes eléctricos y los paneles, mientras que en el caso de la estructura de montaje y anclaje, se sugiere una vez al año.

Al planificar la evaluación y mantenimiento del sistema fotovoltaico se debe considerar la zona geográfica, además de los siguientes aspectos:

- Emplazamiento del sistema fotovoltaico: considerar si está en el suelo o integrado a edificación, accesibilidad a los diferentes componentes, entre otros.
- Medio ambiente y factores climáticos: nivel de pluviometría, nivel de índice de polvo, intensidad de los vientos, cercanía al mar, ambientes corrosivos o salinos, entre otros.

El procedimiento se inicia con una inspección inicial visual del sistema, con el fin de detectar averías y fallas típicas. Luego se complementa con la medición del funcionamiento de algunas magnitudes claves (potencia, tensión, etc.). En el apartado 3.1.2 Aspectos de seguridad, se presenta una pauta de evaluación sugerida, la que contiene los pasos a seguir, aspectos a observar y acciones a tomar.

Los trabajos de evaluación y mantenimiento, deben realizarse considerando normativa de trabajo en altura y riesgo eléctrico. En el caso de sistemas instalados en techo, es importante utilizar equipos de protección personal (EPP) correspondiente a trabajos eléctricos en altura y equipos de protección individual contra descargas eléctricas.

CONCEPTO CLAVE: MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo permite detectar y corregir fallas o averías que afectan el funcionamiento del sistema fotovoltaico. Implica analizar visualmente el sistema y luego medir su funcionamiento, para detectar anomalías y proponer arreglos.

3.1.2. Aspectos de seguridad

Para realizar la evaluación y ejecutar las acciones preventivas y correctivas, es importante tener en cuenta aspectos de seguridad eléctrica y trabajo en altura.

3.1.2.1. Seguridad eléctrica

Las personas que operan, mantienen o revisan un sistema fotovoltaico pueden estar expuestas a riesgos eléctricos, los que pueden ser por contacto directo o indirecto con corriente continua o corriente alterna. Para disminuir las posibilidades de choque eléctrico, se debe manipular el sistema respetando la normativa establecida. En un sistema solar fotovoltaico el operador podría sufrir lesiones corporales.

TABLA 1: PAUTA DE INSPECCIÓN PARA COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

	COMPONENTE	INSTALACIÓN OFF GRID	INSTALACIÓN ON GRID	INSPECCIÓN VISUAL	INSPECCIÓN CON INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	ACCIÓN PREVENTIVA	ACCIÓN CORRECTIVA
1	PANELES	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> Sombra Polvo Contactos/conexiones Humedad Puntos calientes 	N/A N/A N/A N/A Medición con termografía	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza 	Recambio conectores Recambio de panel
2	ESTRUCTURA SOPORTE	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> Fisuras o golpes Estado de corrosión de la estructura Anclaje, tornillos y fijaciones 	N/A N/A N/A	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza Reapriete 	Recambio piezas
3	REGULADOR DE CARGA	SI	NO	<ul style="list-style-type: none"> Adecuada ventilación Cables firmes Corrosión en terminales 	N/A N/A N/A	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza 	
4	BATERÍA	SI	NO	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza parte superior, bornes y terminales de conexión Registro de mantención 	N/A N/A	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza de bornes 	Recambio
5	INVERSOR	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> Luz de alerta 	<ul style="list-style-type: none"> Medición de voltaje a la salida del inversor. Retroalimentación de la salida CA del inversor con otra fuente de corriente alterna. Conexión en polaridad inversa Identificar posible falla en la red o mala calidad de suministro eléctrico 	<ul style="list-style-type: none"> Limpieza Control Medición 	Recambio
6	CONDUCTORES	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> Conductores con pérdida de aislación Conductores con daños físicos por tracción 	<ul style="list-style-type: none"> Medir caída de tensión en conductores Medición de aislamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Control Medición 	Recambio de conductores
7	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> Bornes quemados Conductores sueltos 	<ul style="list-style-type: none"> Medición de continuidad Medición de voltaje en bornes 	<ul style="list-style-type: none"> Comprobación de correcta operación Reapriete de terminales 	Recambio
8	CABLEADO GENERAL	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> Desordenado, sin marcar Suelto Roturas en el aislamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Medición de aislamiento Medición de voltaje en bornes 	<ul style="list-style-type: none"> Marccción de cableado, medición de continuidad Reordenamiento 	Recambio
9	CABLEADO STRING	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> Suelto Rotura de la camisa de aislamiento Estrés mecánico por tracción 	<ul style="list-style-type: none"> Medición del voltaje del String, que la tensión este de acuerdo al fabricante. Medición de aislamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Reordenamiento Eliminación del estrés mecánico 	Recambio
10	CANALIZACIÓN	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> Estado del material Roturas Uniones sueltas Canalización descubierta 	N/A	<ul style="list-style-type: none"> Tapar canalización descubierta Reapriete de uniones sueltas 	Reemplazo de tramos
11	PUESTA A TIERRA	SI	SI	<ul style="list-style-type: none"> Conexiones de tierra entre paneles y estructura Fijación de la línea de tierra Conexión de línea de tierra a inversor y tablero 	Medición de continuidad 11	<ul style="list-style-type: none"> Reapriete de conexiones 	Recambio en caso de corte de la línea
12	TABLERO ELÉCTRICO	NO	SI	<ul style="list-style-type: none"> Estanqueidad del gabinete Humedad Aterrizamiento Inspección de elementos de maniobra Fijaciones a pared o muro 	<ul style="list-style-type: none"> Medición de continuidad de tierra Medición de voltaje y continuidad en elementos de maniobra 	<ul style="list-style-type: none"> Reapriete de conexiones Reapriete de fijaciones 	Reemplazo

Fuente: SEC

Antes de realizar el mantenimiento, se pueden disminuir los riesgos eléctricos realizando las siguientes acciones:

- Usar vestimenta adecuada a la tarea, dispositivos y herramientas con protección de contacto o aislamiento.
- Abrir y bloquear los circuitos en el área de trabajo (CC o CA).
- Usar señalética correspondiente al tipo de tarea.
- Verificar si los componentes están desenergizados a través de instrumentos de medición adecuada.
- Antes de separar los conectores de los strings se debe apagar el inversor. Nunca se desconectan bajo carga (riesgo de arco eléctrico).

Los Riesgos eléctricos más frecuentes son por contacto directo o indirecto, pudiendo derivar en:

- Choque eléctrico y electrocución.
- Quemaduras eléctricas de diversos grados.
- Convulsiones.
- Paro cardiorrespiratorio.
- Caídas a nivel o diferente.

RECUERDA

- Un voltaje de operación bajo no implica un bajo nivel de riesgo.

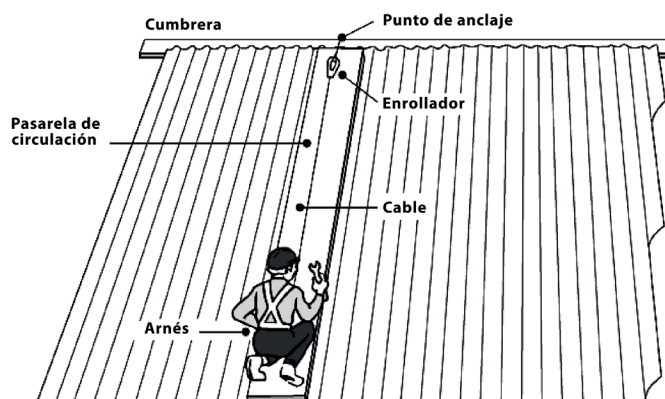
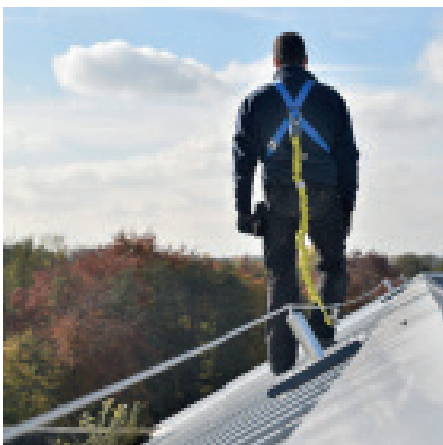
3.1.2.2. Trabajo en altura

Las caídas se definen como acontecimientos involuntarios que hacen perder el equilibrio y provocan que el cuerpo impacte a otra superficie firme que lo detenga. Las lesiones en este caso pueden ser mortales o incapacitantes.

Se deben controlar los siguientes aspectos:

- Protección anti caídas.
- Plataformas elevadoras, andamios y escalas.
- Equipos de protección personal.

Si el lugar de trabajo tiene un nivel de más de 1.8 metros y el techo tiene una inclinación superior a 20° es imprescindible el uso de arneses, anclaje y cuerdas de vida.



Fuente: <https://reformaslaguntza.Com/vertical-en-bizkaia/trabajos-verticales-en-la-empresa-bizkaia/lineas-de-vida-bizkaia/> Fuente: <https://antonionarejos.Wordpress.Com/tag/seguridad/>

ILUSTRACIÓN 100: USO CORRECTO DE ARNÉS, ANCLAJE Y CUERDAS DE VIDA

Para el desarrollo de faenas en sistemas fotovoltaicos se debe considerar la siguiente normativa:

- Ley 16.744 Ministerio del Trabajo y Prevención Social que establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales.
- RGR N° 2/2017 Diseño y ejecución de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a redes de distribución. SEC.
- NCh1258/1.Of2004 Arnéses para el cuerpo completo
- NCh1258/2.Of2005 Estrobo y amortiguadores de impacto.
- NCh1258/3.Of2005 Líneas de vida autor retráctiles.
- NCh1258/4.Of2005 Rieles verticales y líneas de vida verticales.
- NCh1258/5.Of2005 Conectores con puertas de trabajo automático.
- NCh1258/6.Of2005 Ensayos de comportamiento de sistema.
- NCh997/Of.1999 Terminología y clasificación.
- NCh998/Of.1999 Requisitos generales de seguridad.
- NCh 999/Of.1999 Andamios de Madera doble pie derecho.
- NCh2501/Of.2000 Andamios metálicos tubulares prefabricados.
- NCh.2458/Of.1999 Sistemas de protección para trabajos en altura.
- Guía para la selección y control de equipos de protección personal para trabajos con riesgo de caídas. Instituto de Salud Pública de Chile Ministerio de Salud.
- Protocolo de Andamios/SEREMI Salud.



INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Con el propósito de conocer buenas prácticas de mantenimiento y las medidas de seguridad necesarias, se sugiere revisar la siguiente información:

- Guía para la selección y control de Equipos de Protección Personal para Trabajos con Riesgo de Caídas. [www.ispch.cl/sites/default/files/03-EPP%20Anticaida\(20112012\).pdf](http://www.ispch.cl/sites/default/files/03-EPP%20Anticaida(20112012).pdf)
- Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos (Minenergía 2016). www.minenergia.cl/techossolares/wp-content/uploads/2017/04/Guia_OperacionMantenimiento_0517t.pdf
- Guía de buenas y malas prácticas de instalaciones fotovoltaicas sobre techos (Minenergía, 2016). www.minenergia.cl/techossolares/wp-content/uploads/2017/02/Guia-de-buenas-y-malas-practicas-de-instalaciones-fotovoltaicas.pdf

La siguiente actividad tiene como propósito reforzar la comprensión del contenido teórico sobre la seguridad en la instalación de sistemas fotovoltaicos, mediante el análisis de un caso, sus consecuencias y los aspectos de mayor relevancia a considerar en el proceso de evaluación.

ACTIVIDAD 35

Reflexión: importancia de la seguridad y la protección personal en el trabajo



¿Por qué es importante usar equipos de protección personal, para realizar mantenimiento?

Reflexione con sus compañeros, considerando los riesgos de trabajo de altura y riesgo eléctrico.

Considere la siguiente situación.

Caso hipotético: Juan de 35 años, casado y con dos hijos, no ha seguido las instrucciones de seguridad y se ha electrocutado mientras realiza una instalación. ¿Cuáles son las consecuencias que conllevan esta situación para Juan y su familia?

¿Considera que realizar un proceso de evaluación, previo a ejecutar el mantenimiento, permite ordenar y planificar el trabajo a realizar?

¿Cuáles son los aspectos más relevantes a considerar en el proceso de evaluación?

La evaluación sobre la correcta instalación de un sistema solar fotovoltaico, puede realizarse de manera visual y a través de mediciones. Con la siguiente actividad se busca reforzar la comprensión del contenido teórico respecto a los aspectos de seguridad a considerar el momento de realizar esta tarea.

ACTIVIDAD 36

Diseño de una pauta de cotejo de evaluación



Le proponemos reunirse con otros compañeros, y elaborar en conjunto una pauta de cotejo de evaluación visual y medición de un sistema solar fotovoltaico, que considere:

- Relaciones y sistematización de los pasos de evaluación en un diagrama de flujo, identificando los elementos y componentes.
- Realizar un diagrama para un sistema On Grid y otro para un sistema Off Grid.

En base al diagrama diseñar una pauta de cotejo para el control de la evaluación para su uso en terreno.

3.2. ACCIÓN PREVENTIVA Y CORRECTIVA

- Con el fin de prevenir fallas en el funcionamiento de los sistemas, es importante adoptar diferentes medidas acorde a cada componente.

3.2.1. Paneles

- Los módulos fotovoltaicos requieren de una limpieza periódica para evitar una disminución de la energía eléctrica generada, producto de polvo, suciedad u objetos que obstaculicen la llegada del sol o produzcan sombras.
- De forma general y especialmente en instalaciones domiciliarias, se recomienda usar abundante agua, de preferencia desionizada (desmineralizada), para evitar manchas (sin detergentes o disolventes) y un utensilio de limpieza suave y adecuada para vidrio (por ejemplo, cepillo o esponja). Se debe evitar usar instrumentos rígidos o metálicos (por ejemplo, una espátula), que pudiesen rayar la superficie. Se sugiere no usar agua a presión.

INVESTIGAR

Averigüe sobre sistemas de limpieza para instalaciones comerciales e industriales, por ejemplo: con agua, rodillo autopropulsado, mecánicos y automáticos, aire comprimido.



ILUSTRACIÓN 101: LIMPIEZA DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Fuente: (izquierda) PV Enterprise, (derecha) www.projekt-solartechnik.de

En las imágenes se puede apreciar los problemas de una mala programación de limpieza.

RECUERDA

Antes de realizar cualquier maniobra de limpieza, es importante verificar que el equipo esté desconectado, para evitar riesgo de sufrir descargas eléctricas.

PRECAUCIÓN

Cada Módulo FV que recibe luz natural debe considerarse en la condición “energizado” o “con energía viva”. Por ello es importante usar en todo momento los elementos de protección y seguridad.

3.2.2. Inversores

Debido a que los inversores son el “corazón” de la instalación de un sistema fotovoltaico, su correcto funcionamiento está directamente asociado a su vida útil y al factor de disponibilidad. Por ello las actividades de mantenimiento preventivo deben considerar como mínimo actividades de limpieza, control y medición:

- **Acciones de limpieza**
 - Realizar limpieza de polvo y suciedad en general de los tableros o casetas de ubicación de los inversores, limpieza de rejillas, celosías y canales de ventilación, con reemplazo de filtros asociados cuando corresponda.
 - Limpieza de los distintos elementos que poseen los inversores (componentes electrónicos, ventiladores, dispositivos de interface y comunicaciones, etc.).
 - Limpieza de aletas de los disipadores de calor en los elementos de potencia.
- **Acciones de control y verificación**
 - De dispositivos de protección contra contactos indirectos.
 - Del cableado de los equipos, verificar cercanía o contacto con fuentes de calor o aristas filosas que pudiesen dañar el cubrimiento.

- De etiquetas de identificación de los cables eléctricos.
- De bornes de conexión de cables eléctricos.
- De fluidos del electrolito de los condensadores.
- Del funcionamiento del ventilador de refrigeración del inversor.
- De display de aviso o fallas del equipo.
- De ruidos extraños y calentamientos excesivos en los inversores.
- De ausencia de humedad o filtraciones de agua en el inversor.
- **Acciones de medición**
 - Medida y comprobación de parámetros eléctricos de entrada y salida.
- **Acciones a seguir en caso de falla del inversor**
 - Desconectar las protecciones del tablero fotovoltaico y apagar el inversor.
 - Llamar al Servicio Técnico del proveedor del equipo y solicitar la reparación.
 - Verificar si el componente aún está dentro el plazo de garantía o no.

RECOMENDACIONES

- Nunca manipule o intervenga el INVERSOR. El trabajo de reparación es competencia del experto autorizado por el proveedor del producto.
- Revise la declaración de garantía del fabricante, para saber específicamente qué cubre, cuándo comienza su vigencia y bajo qué circunstancia la garantía no puede hacerse efectiva.
- Procure seleccionar equipos con servicio de post venta en el país.

CONCEPTO CLAVE

El inversor transforma la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos a corriente alterna, para usarla en el edificio o inyectarla a la red eléctrica. La calidad y la vida útil de inversores han avanzado rápidamente en cuanto a eficiencia; actualmente son capaces de transformar la energía hasta con un 98% de eficiencia.

Fuente: Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos. (Minenergía, 2016)

3.2.3. Reguladores de Carga

La función de los reguladores de carga es garantizar la correcta y eficiente carga de las baterías de un sistema fotovoltaico y evitar una descarga más allá del límite permitido para una descarga profunda. Como parte de las acciones de control y verificación, se considera:

- Revisar polaridad.
- Verificar que los fusibles no hayan sido reemplazados, dejando el circuito directo.
- Verificar que las conexiones a tierra estén correctas.

3.2.4. Baterías

Este es el componente más delicado, pero a la vez flexible de un sistema fotovoltaico, ya que existen opciones de reemplazo. Además, se recomienda:

Acciones de control y verificación: Revisar el indicador de carga. Este indica cuando la reserva de carga es cada vez menor y se acerca la fecha de reemplazarla.

Controlar el estado del cableado y de las conexiones, principalmente entre las baterías y el inversor de corriente. Puede que algunas conexiones se aflojen y sea necesario apretarlas de nuevo. Además, se deberá ver el estado del cableado y si ha habido algún calentamiento o quemadura del plástico protector en alguna parte del recorrido.

DATO

¿Sirve cualquier batería?

Lo importante es el costo por kWh que la batería entrega al consumo.

Una batería común soporta un número limitado de descargas profundas y después de un tiempo deja de funcionar para siempre. Una con certificación es más costosa pero tiene mayor vida útil.

¿Cuál es la vida útil de una batería?

La vida útil de una batería comercial oscila entre 2,5 a 6 años

CONCEPTO CLAVE

Nunca se debe dejar que la carga de una batería solar se agote completamente, ya que cuando esto ocurra no será suficiente el aporte proveniente de los paneles solares. Deberá haber una base de energía dentro del acumulador para que la carga solar se reenlace y empiece a cargar la batería correctamente. En estos casos se recomienda volver a cargar la batería hasta un mínimo del 25% de capacidad, mediante un grupo electrógeno.

Si deseas ampliar y profundizar tus competencias en esta temática te sugerimos revisar la siguiente información complementaria.



INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Si quieres saber más sobre operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, puedes revisar la siguiente información:

- Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos (Minenergía 2017) disponible en: www.minenergia.cl/techossolares/wp-content/uploads/2017/04/Guia_OperacionMantenimiento_0517t.pdf

Si bien, las energías renovables no convencionales, son consideradas una alternativa limpia y eficiente es importante incentivar el cuidado medioambiental, considerando el potencial de los paneles fotovoltaicos para ser reciclados. En este sentido se plantea la siguiente actividad:

ACTIVIDAD 37

Reflexión con estudiantes: Reciclaje de paneles fotovoltaicos



¿Sabía usted que los paneles fotovoltaicos se pueden reciclar?

Hacia el año 2050 los paneles solares podrían representar 78 megatoneladas de residuos en todo el mundo. Pero gracias al reciclaje y recuperación de los paneles fotovoltaicos se podrían reproducir nuevamente 2.000 millones de paneles. Por lo tanto, si se aplica el reciclaje de los paneles fotovoltaicos de forma correcta y estudiada, podría ampliar una notable transición hacia un modelo energético más sostenible.

Fuente: <https://inarquia.es/paneles-fotovoltaicos-reciclar>

¿Por qué es importante reciclar? ¿Cuáles son las ventajas que presentan las actividades de reciclaje?

CONCEPTO CLAVE

El mantenimiento y limpieza de los paneles es sumamente importante, porque está relacionado con su rendimiento. La siguiente actividad tiene como propósito comprobar el contenido teórico sobre la mantención de los paneles fotovoltaicos, mediante la medición de variables asociadas a los sistemas fotovoltaicos en el Banco de entrenamiento del laboratorio didáctico.

ACTIVIDAD 38**Limpieza y mantención de paneles fotovoltaicos**

Analizar el efecto de suciedad en los paneles solares fotovoltaico.

Le invitamos a formar grupos con los estudiantes y, utilizando el Maletín de fundamentos y el Banco de entrenamiento, realicen y registren mediciones bajo las siguientes situaciones:

- Paneles limpios.
- Paneles sucios.
- Paneles parcialmente limpios.

Comparen los resultados y comprueben el efecto de la suciedad de los paneles respecto al rendimiento del sistema solar fotovoltaico. ¿Cuál es su conclusión?

La siguiente actividad tiene como propósito comprobar el contenido teórico sobre la acción preventiva y correctiva en sistemas fotovoltaicos, mediante la medición de variables asociadas a estos en el laboratorio didáctico, específicamente en el banco de entrenamiento del laboratorio didáctico.

ACTIVIDAD 39**Detección de fallas en el sistema fotovoltaico**

Detectar una situación de falla en el sistema eléctrico fotovoltaico, como parte de un proceso de mantenimiento preventivo.

Se propone, mediante trabajo en grupo, simular un proceso de mantenimiento preventivo, que les permita detectar una situación de falla en el sistema eléctrico fotovoltaico.

Cada grupo de estudiantes deberá aplicar un plan de evaluación preventivo, identificar las fallas e indicar las acciones a seguir (preventivas y /o correctivas):

- Seleccione EPP correspondiente para trabajo en altura y riesgo eléctrico.
- Analice el sitio de instalación, detectando obstáculos tal como sombras, suciedad u otro factor que incida en el funcionamiento de sistemas solares fotovoltaicos.
- Revise los equipos y los sistemas fotovoltaicos, con apoyo de instrumentos, para medir, verificar y registrar signos o evidencias de funcionamiento anormal, fallas y averías más comunes en un sistema fotovoltaico, considerando las especificaciones de fábrica o de los planos del sistema.
- Registre en una pauta de evaluación (por ejemplo pauta de cotejo) los resultados de la inspección visual y mediciones.
- Planteé las acciones correctivas correspondientes.
- Diseñe una breve presentación oral del trabajo realizado.

La siguiente actividad está centrada en fortalecer, de forma práctica, las competencias relacionadas a la detección de componente dañados y el recambio de los mismos.

ACTIVIDAD 40

Limpieza de paneles y recambio de componentes dañados, realizando trabajo en altura



Para poner en práctica los conceptos relacionados a mantenimiento de sistemas solares, realice un ejercicio de limpieza de paneles y recambio de componente dañado. Considere los siguientes aspectos:

- Identifique los materiales y equipos que requerirá para la actividad.
- Defina los pasos para realizar la actividad de limpieza y recambio.
- Revise y utilice EPP para trabajo en altura y riesgo eléctrico según normativa.
- Ejecute la limpieza y recambio de componentes.
- Verifique el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico, luego del proceso de limpieza.

CAPÍTULO

4

Módulo N°7: Instalación de equipos electrónicos de potencia

4.1. Propuesta de planificación de proyecto de instalación On Grid sobre techo

Se propone, a continuación, una actividad a realizarse en 4° medio que considera el manejo y aplicación de los contenidos y habilidades adquiridos los módulos 2, 3 y 4 del **“Programa de capacitación en energía solar fotovoltaica para liceos de Enseñanza Media Técnico Profesional con especialidad de electricidad”**.

ACTIVIDAD 41

Proyecto de instalación de un sistema fotovoltaico On Grid, sobre techo inclinado



Realiza la instalación de un sistema fotovoltaico completo sobre techo, de acuerdo al proyecto presentado y siguiendo todas las indicaciones indicadas por la normativa vigente, presentado la planimetría acorde al proyecto y realizando y diseñando un plan de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema.

1. En base a los recursos incluidos en la techumbre práctica del laboratorio y banco de entrenamiento, los estudiantes elaboran un proyecto de planta Fotovoltaico, a partir del diseño conceptual, básico y de detalle para su implementación práctica, conforme a la normativa eléctrica vigente y las especificaciones técnicas de los equipos.
2. Elaboran un listado con los hitos más relevantes en la instalación de una planta FV conectada a la red.
3. Elaboran una Carta Gantt con los tiempos de ejecución estimados para cada uno de los hitos detectados.
4. Realizan la instalación del sistema FV, conforme a lo siguiente:
 - Instalan sistema de seguridad: línea de vida.
 - Instalan la estructura de soporte en las diferentes superficies incluidas en la techumbre de entrenamiento.
 - Instalan las canalizaciones (bandejas, ductos, etc.) de acuerdo a proyecto eléctrico, planimetría, etc.
 - Montan los paneles fotovoltaicos sobre estructura de soporte
 - Realizan el cableado de conductores de corriente continua.
 - Montan el inversor/microinversores, conforme a proyecto.
 - Realizan el cableado CA.
 - Arman tablero FV de protecciones para conexión a la red
 - Montan tablero FV
 - Realizan pruebas de aislación, continuidad en el cableado CC.
 - Conectan paneles en serie para conformación de strings, conforme al proyecto FV, planimetría, etc.
 - Miden la tensión de circuito abierto en los strings.
 - Conectan los strings a inversor.
 - Conectan el cableado CA entre inversor y tablero FV.
 - Conectan el tablero FV a empalme de red.
 - Verifican la conexión de los componentes del sistema.
 - Realizan la puesta en marcha del sistema FV.
 - Diseñan un un plan de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema.
5. Puesta en marcha:
 - Realizan el encendido del sistema FV, conforme al procedimiento de encendido establecido, verificando su funcionamiento bajo condiciones de operación normales
 - Realizan mediciones de parámetros eléctricos, confirmando que el sistema se encuentra operando en condiciones de operación normales.
 - Realizan pruebas de desconexión de la red, verificando que el sistema sale de operación conforme a la normativa legal vigente.
 - Verifican que el sistema fotovoltaico inyecta en la red, alimentando los consumos.

CAPÍTULO

5

Referencias bibliográficas

- **Banco Interamericano de Desarrollo (2013).** Conjunto de datos: Base de datos de energía. Recuperado de www.iadb.org/es/temas/energia/base-de-datos-de-energia/base-de-datos-de-energia%2C19144.html
- **Corporación de Desarrollo Tecnológico (2013).** Componentes de la radiación solar en la Tierra (figuras). Manual de Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados a Red (pp. 16 y 32). Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción.
- **Corporación de Desarrollo Tecnológico (2017).** Instalación de la estructura de soporte (figuras). Guía de buenas y malas prácticas de instalaciones fotovoltaicas sobre techos. Documento anexo a la guía check list pre-fiscalización TE4 (p. 11). Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción.
- **Ministerio de Educación (2015).** Programa de Estudio de la Especialidad Electricidad [Gráfico]. Recuperado de Bases Curriculares, Planes y Programas de Estudio. Formación Diferenciada Técnico Profesional (pp.7 y 16). Santiago-Chile.
- **Ministerio de Educación (2016)** Orientaciones para la Gestión e Implementación del Currículum de la Educación Media Técnico-Profesional. Santiago - Chile.
- **Superintendencia de Electricidad y Combustibles (2018).** ¿Cómo funciona la Ley 20.571?(video) Recuperado de: www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5819695&_dad=portal&_schema=PORTAL
- **Superintendencia de Electricidad y Combustibles (2018).** ¿Cómo funciona la Ley 20.571? (imagen) Recuperado de: www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5819695&_dad=portal&_schema=PORTAL
- **Solartrainer junior (2017).** Experimento con células solares, instrucciones. IKS Photovoltaik GmbH
- **Guía de buenas prácticas para la incorporación de Sistemas Solares Térmicos y Fotovoltaicos (2017).** Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción.

CAPÍTULO

6

Glosario

- **Acumulador** Elemento de instalación capaz de almacenar la energía eléctrica, transformándola en energía química. Se compone de diversas baterías conectadas entre sí, en serie o en paralelo.
- **Amperio-hora** Unidad usada para especificar la capacidad de una batería.
- **Balance of System (BOS)** Representa el resto de componentes del sistema, añadidos a los módulos fotovoltaicos.
- **Baterías** Acumulan la energía que reciben de los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.
- **Diodo de bloqueo** Diodo que impide que se invierta la corriente en un circuito. Normalmente es usado para evitar la descarga de la batería.
- **Caja de Conexiones** Elemento donde las series de módulos fotovoltaicos son conectados eléctricamente, y donde puede colocarse el dispositivo de protección, si es necesario.
- **Celda Fotovoltaica** Unidad básica del sistema fotovoltaico donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica.
- **Central Fotovoltaica** Conjunto de instalaciones destinadas al suministro de energía eléctrica a la red, mediante el empleo de sistemas fotovoltaicos a gran escala.
- **Controlador de Carga** Componente del sistema fotovoltaico que controla el estado de carga de la batería.
- **Convertidor Continua - Continua** Elemento de la instalación encargado de adecuar la tensión que suministra el generador fotovoltaico a la tensión que requieran los equipos para su funcionamiento.
- **Efecto Fotovoltaico** Conversión directa de la energía luminosa en energía eléctrica.

- **Eficiencia** En lo que respecta, a células solares es el porcentaje de energía solar que es transformada en energía eléctrica por la célula. En función de la tecnología y la producción técnica, éste varía entre un 5% y un 30%.
- **Electrolito** En el caso de las baterías empleadas en sistemas fotovoltaicos, es una solución diluida de ácido sulfúrico, en la que se verifican los distintos procesos que permiten la carga y descarga de la batería.
- **Fotovoltaico (FV)** Relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.
- **Generador** Conjunto de todos los elementos que componen una instalación fotovoltaica, necesarios para suministrar energía a las distintas aplicaciones. Transforma la energía del sol en energía eléctrica.
- **Inversor** Transforma la corriente continua que suministran las baterías o los paneles, en corriente alterna para su uso en diferentes electrodomésticos o aplicaciones, tanto en sistemas aislados como en sistemas conectados a red.
- **IP (Ingress Protection)** La norma internacional CEI 529, de la Comisión Electrotécnica Internacional, establece una codificación numérica a través de la cual se definen las características de los grados de protección que la envolvente, carcasa o caja, de un equipo proporciona tanto, desde el punto de vista de protección a las personas frente a la posibilidad de alcanzar partes energizadas en el interior del equipo o aparato, como desde el punto de vista de penetración de elementos extraños al equipo, como cuerpos, polvos o agua que interfieran con su funcionamiento y/o le provoquen daños.
- **Medidor bidireccional** Un medidor principal mide la energía producida (kWh) y enviada a la red, que pueda ser facturada a la compañía a los precios autorizados.
- **Módulo o Panel Fotovoltaico** Es el conjunto formado por las distintas células fotovoltaicas interconectadas, encapsuladas y protegidas por un vidrio en su cara anterior y por un marco por los laterales. El módulo está provisto de terminales para su conexión a la instalación.
- **Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)** Temperatura a la que trabaja una célula en un módulo bajo las Condiciones de Operación Estándar, que es de 20° Centígrados de temperatura ambiente, irradiación de 0.8 kW/m² y velocidad media del viento de 1 m/s, con el viento orientado en paralelo al plano de la estructura y todos los lados de la estructura totalmente expuestos al viento.
- **Orientación** Angulo de orientación respecto al norte solar de la superficie de un panel. El norte geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula.

- **Protección IP** La norma internacional CEI 529, de la Comisión Electrotécnica Internacional establece una codificación numérica a través de la cual se definen las características de los grados de protección que la envolvente, carcasa o caja, de un equipo proporciona tanto, desde el punto de vista de protección a las personas frente a la posibilidad de alcanzar partes energizadas en el interior del equipo o aparato, como desde el punto de vista de penetración de elementos extraños al equipo como cuerpos, polvos o agua que interfieran con su funcionamiento y/o le provoquen daños. La caracterización de los grados de protección se establece mediante un código formado por las letras IP (índice de protección) seguidas de una combinación de dos cifras (NCH4 Apéndice 1, puntos 1.1.y 1.2).
- **Punto de máxima potencia de un Panel** Potencia que suministra un panel fotovoltaico cuando el producto de la tensión por la intensidad es máximo.
- **Radiación Solar** Cantidad de energía procedente del sol que se recibe en una superficie y tiempo determinado.
- **Regulador Véase** Controlador de Carga.
- **Rendimiento** Es la relación que existe entre la energía que realmente se transforma en energía útil y la que requiere un determinado equipo para su funcionamiento.
- **Silicio** Elemento químico del que básicamente se componen las células de un panel solar. Es de naturaleza prácticamente metálica, gris oscuro y de excelentes propiedades semiconductoras.
- **Sistema Aislado o Remoto** Sistema fotovoltaico autónomo, no conectado a red. Estos sistemas requieren baterías u otras formas de acumulación. Suelen utilizarse en lugares remotos o de difícil acceso (Off Grid).
- **Sistema Conectado a Red** Sistema fotovoltaico que actúa como una central generadora de electricidad, suministrando energía a la red (On Grid).
- **Sistema Híbrido** Sistema fotovoltaico que incluye otras fuentes que generan electricidad, tales como generadores eólicos o grupos electrógenos.
- **Strings** Asociación de módulos fotovoltaicos conectados en paralelo.
- **Tensión de un Circuito Abierto** Es la diferencia de potencial medida entre dos extremos de un circuito eléctrico, cuando éste está abierto y sin carga.
- **Tensión Nominal** Diferencia de potencial específica, para la que se diseña un equipo o una instalación. Se llama nominal porque la tensión puede variar por distintas circunstancias durante la operación.
- **Watt, Kilowatt y megawatt** Watt es la unidad de potencia del sistema internacional de unidades, su símbolo es W. La potencia eléctrica de los aparatos eléctricos se expresa en Watts (W), si son de poca potencia, pero si son de mediana o gran potencia se expresa en kilowatt a (kW), 1.000 Watts (W) equivale a 1 (kW) y 1.000 (kW) equivalen a un 1(MW).
- **Watt peak (Wp)** Es una medida de potencia nominal de un panel fotovoltaico en condiciones de laboratorio o condiciones de prueba estándar (1.000 (W/m²), 25 °C, etc.). Dado que las condiciones reales serán distintas a las del laboratorio, en la práctica producirá una potencia peak aproximadamente entre un 15 - 20% menos, debido principalmente al calentamiento de las celdas solares.
- **Kilowatt hora (kW/h)** Es una unidad de energía expresada de forma de unidad de potencia x tiempo.



Anexos

7.1. Anexo 1. Maletín de fundamento fotovoltaico - Componentes

El sistema de experimentación permite llevar a cabo todos los experimentos básicos sobre energía fotovoltaica. Los materiales están claramente dispuestos en una maleta especial y de fácil acceso, diseñado de manera que permite su uso modular y el desarrollo de las lecciones de modo independiente.

El docente podrá impartir instrucciones experimentales fácilmente comprensibles, ya que cuenta a su disposición sugerencias de actividades de aprendizaje, tanto en la presente Guía como las desarrolla por el proveedor del maletín.

A continuación se presentan los componentes del maletín de fundamento.

MALETÍN DE FUNDAMENTO

COMPONENTES



1. Placa base de montaje para equipos, instrumentos de medida y cajas experimentales.
2. Suspensión para la placa base.
3. Instrucciones.
4. Soluciones.
5. Cable de interfaz (opcional).
6. CD del programa (opcional).
7. Unidad de célula solar.
8. 3 placas de sombreado.
9. Cable de red (bajo la unidad de célula solar).
10. 2 multímetros.
11. Sensor.
12. Unidad de irradiación.
13. 12 cables de medición, 6x rojo 6x azul.
14. Batería.
15. Carga 1.
16. Carga 2.
17. Registrador de datos (opcional).
18. Inversor (opcional bajo el registrador de datos).
19. Acolchado espumoso para cubrir los componentes (en la tapa del maletín, sin imagen).

Los componentes permiten conocer:

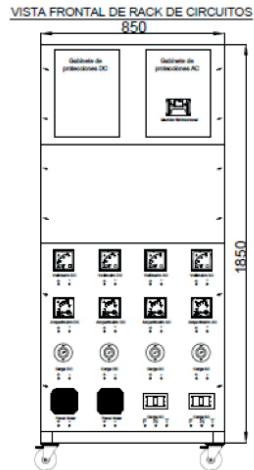
- Medición de la irradiación de diferentes fuentes de luz.
- La celda solar como convertidor de energía.
- La celda solar como convertidor/como diodo.
- El voltaje de circuito abierto de una célula solar/ sombreado.
- La tensión de circuito abierto y la corriente de corto circuito con niveles de irradiación diferente.
- La corriente de cortocircuito de una celda solar con diferentes ángulos de incidencia de luz.
- Conexión en serie de celdas solares/sombreado.
- Conexión en paralelo de celdas solares/sombreado.
- Registro de la característica V/I con adquisición de datos a computador y de forma manual.
- Determinación de eficiencia /MMP.
- Simulación de un ciclo diario.
- Carga de un condensador/acumulador GoldCap con una célula solar para emular baterías.
- Descarga de un condensador, acumulador GoldCap con una célula solar para emular baterías con adquisición de datos a computador.
- Construcción de una red fotovoltaica aislada.
- Representación de un "ciclo diario".
- Conversión de corriente continua a corriente alterna con adquisición de datos a computador.

7.2. Anexo 2. Primer Banco de entrenamiento (Piloto) – Componentes

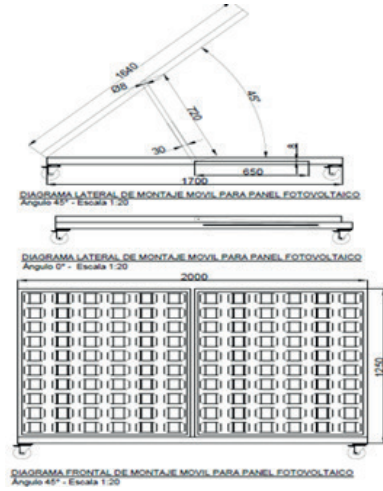
El primer banco de entrenamiento (piloto) está conformado por dos componentes principales: (A) estructura de placas de sistemas On Grid y Off Grid, conformado por diferentes tarjetas intercambiables y (B) set de paneles fotovoltaicos.

BANCO DE ENTRENAMIENTO COMPONENTES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON GRID Y OFF GRID

A) Estructura placas intercambiables



B) Set de paneles fotovoltaicos



Fuente: Payelec, 2018. Imagen de referen

A) Descripción general estructura de placas intercambiables.

Permite llevar a cabo los experimentos prácticos de conexión, montaje y desmontajes de los diferentes componentes que forman parte de un sistema fotovoltaico On Grid y Off Grid.

Está compuesto por tarjetas que son montadas en la estructura del banco con cuatro pernos (cada una), cubriendo entre todas ellas: (i) conexiones y protecciones para corriente continua, (ii) conexiones y protecciones para corriente alterna, (iii) sistemas de conversión de energía en corriente continua a corriente alterna, (iv) equipos de medición y cargas.

Todos los equipos usados en el sistema están autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

El banco de entrenamiento está conformado por las siguientes tarjetas:

- 1. Placa "A"** Tarjeta de Microinversores.
- 2. Placa "B"** Tarjeta de Inversores aislados.
- 3. Placa "C"** Tarjeta de Microinversor con conexión de arreglo de paneles.
- 4. Placa "D"** Tarjeta de Mediciones.
- 5. Placa "E"** Tarjeta de Cargas y Acumulación de Energía.
- 6. Placa "LA"** Tarjeta de Conexión a la Red CA.
- 7. Placa "LB"** Tarjeta de protecciones CA y barra de conexión de energía.
- 8. Placa "RA"** Tarjeta de protecciones CC.
- 9. Placa "RB"** Tarjeta de conexión de paneles.

Las tarjetas 1, 2 y 3 permiten conocer las siguientes configuraciones:

- Conexión en red con microinversores.
- Conexión en red con un sistema reducido de inversor string.
- Sistemas aislados de paneles fotovoltaicos.

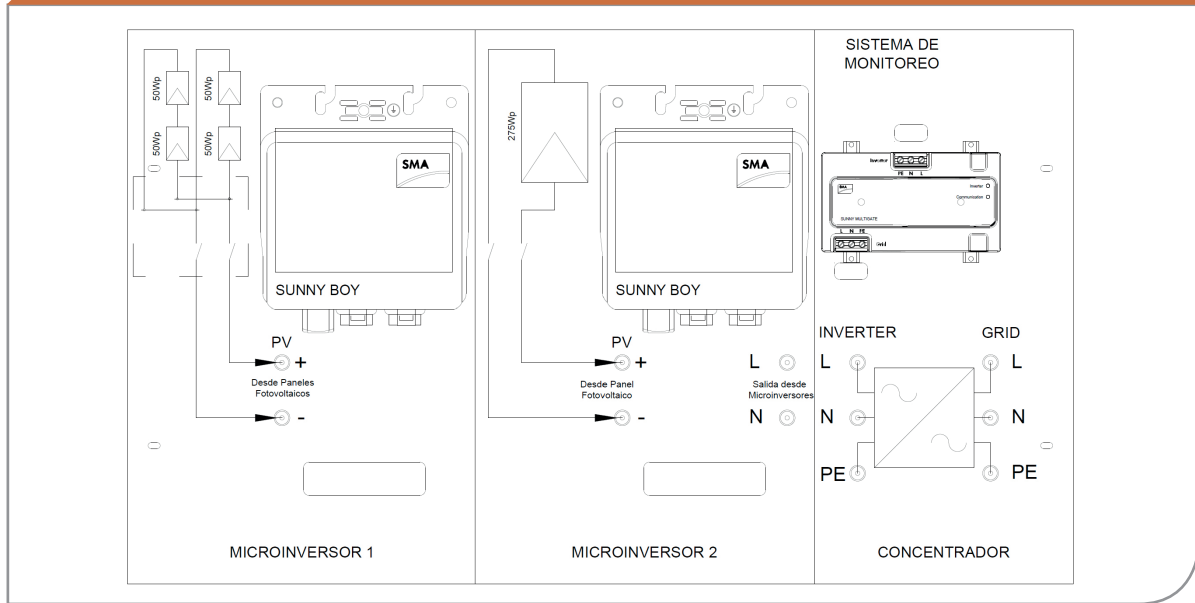
Las tarjetas 4 y 5 permiten medir y usar la energía generada.

Las tarjetas 6 y 7 permiten conocer los métodos de conexión de protecciones de los paneles fotovoltaicos y uso de protecciones CC.

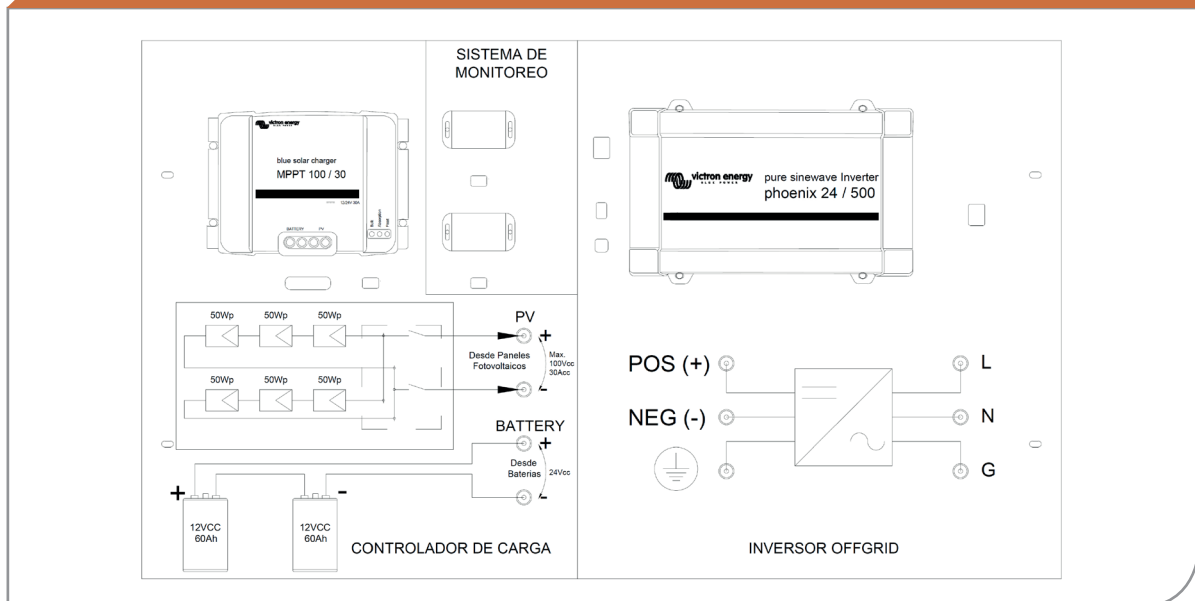
Las tarjetas 8 y 9 permiten conocer el método de conexión a la red CA, las protecciones y componentes usados.

A continuación se presentan imágenes referenciales de las Tarjetas

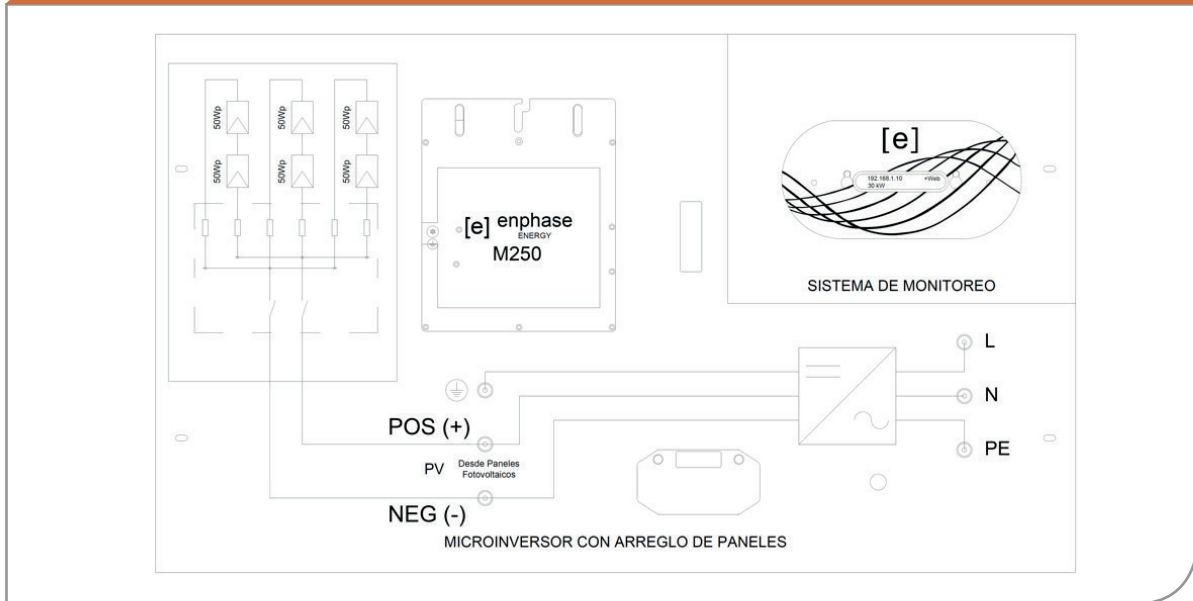
1. PLACA "A" TARJETA DE MICROINVERSORES



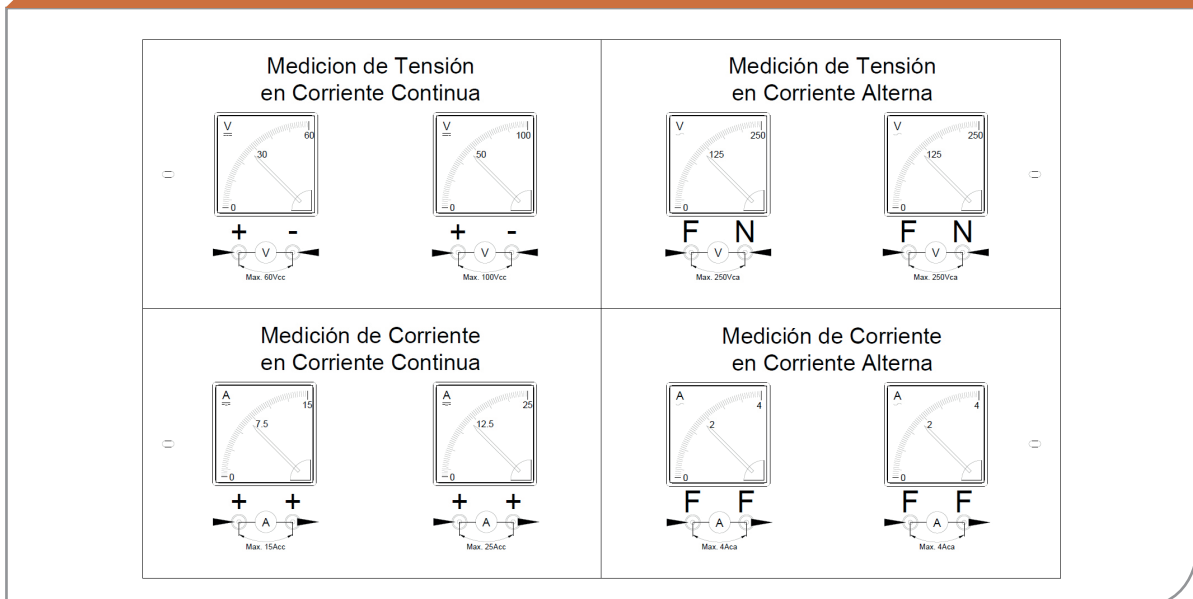
2. PLACA "B" TARJETA DE INVERSORES AISLADOS



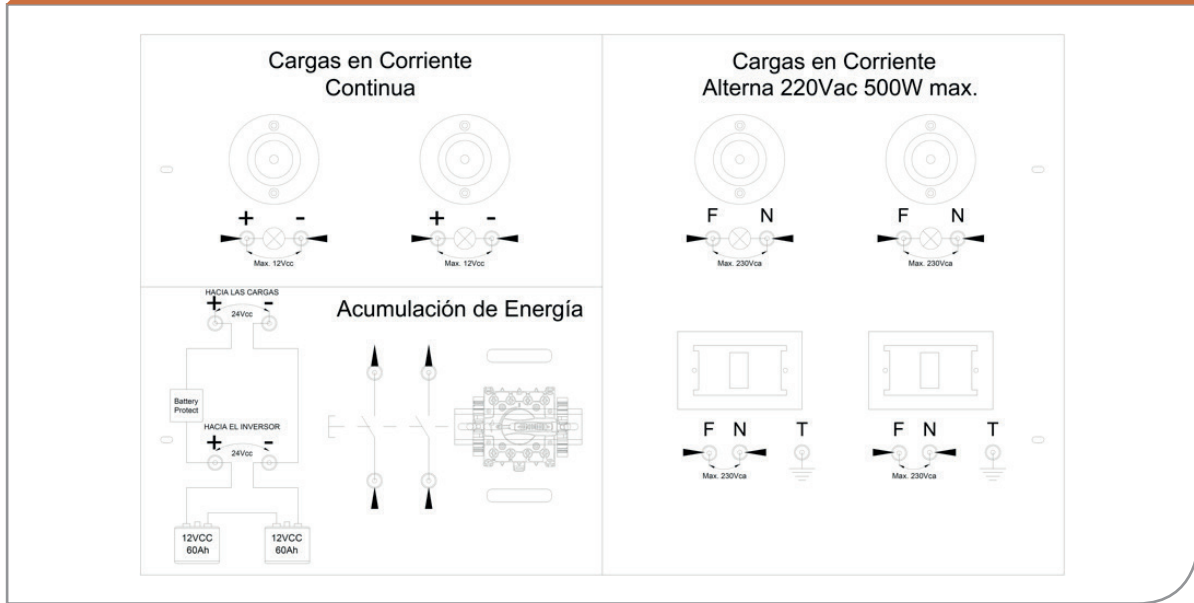
3. PLACA "C" TARJETA DE MICROINVERSOR CON CONEXIÓN DE ARREGLO DE PANELES



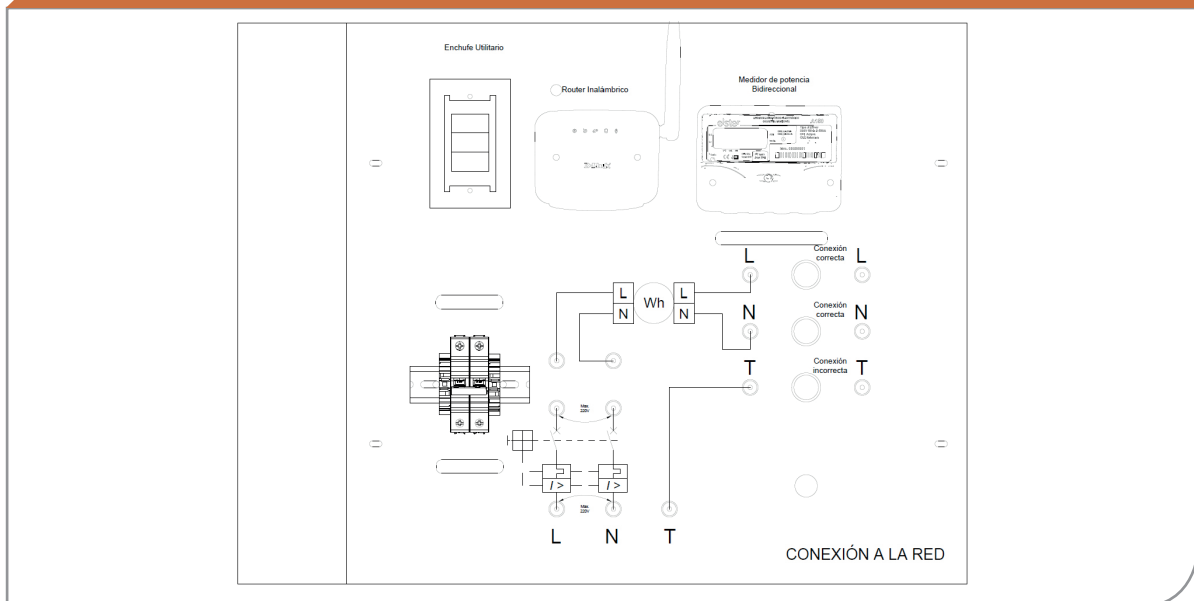
4. PLACA "D" TARJETA DE MEDICIONES



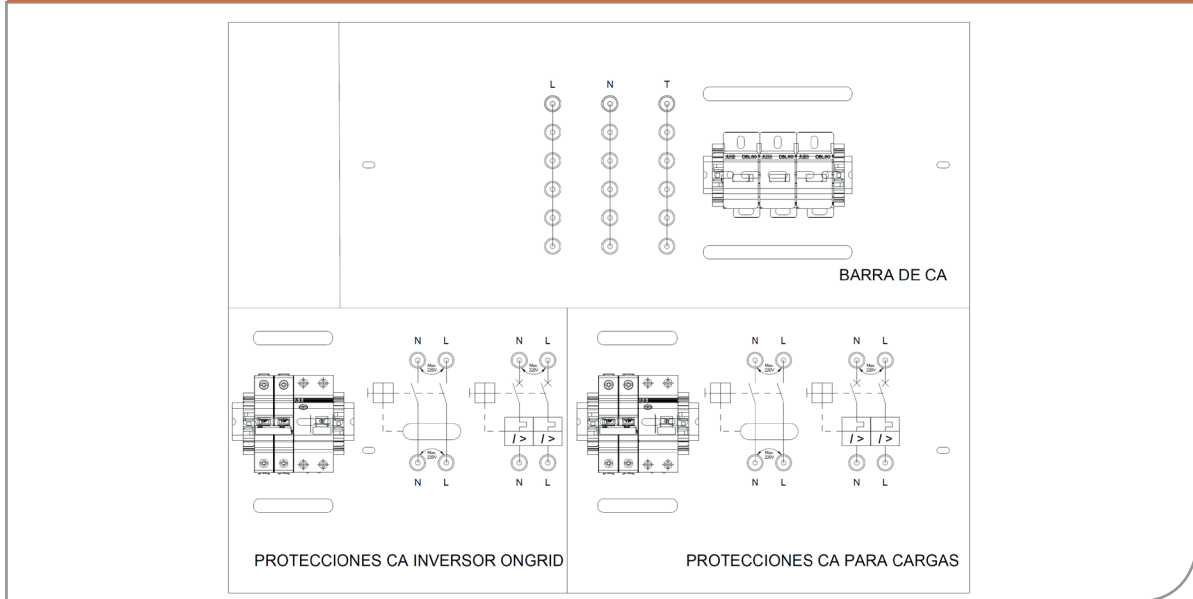
5. PLACA "E" TARJETA DE CARGAS Y ACUMULACIÓN DE ENERGÍA



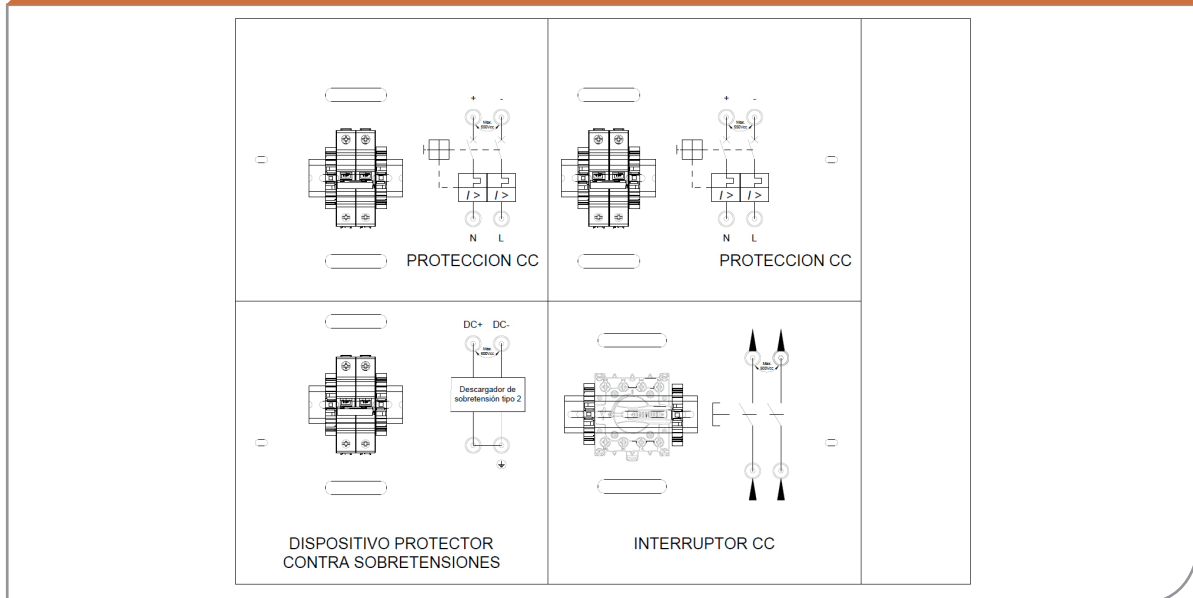
6. PLACA "LA" TARJETA DE CONEXIÓN A LA RED CA



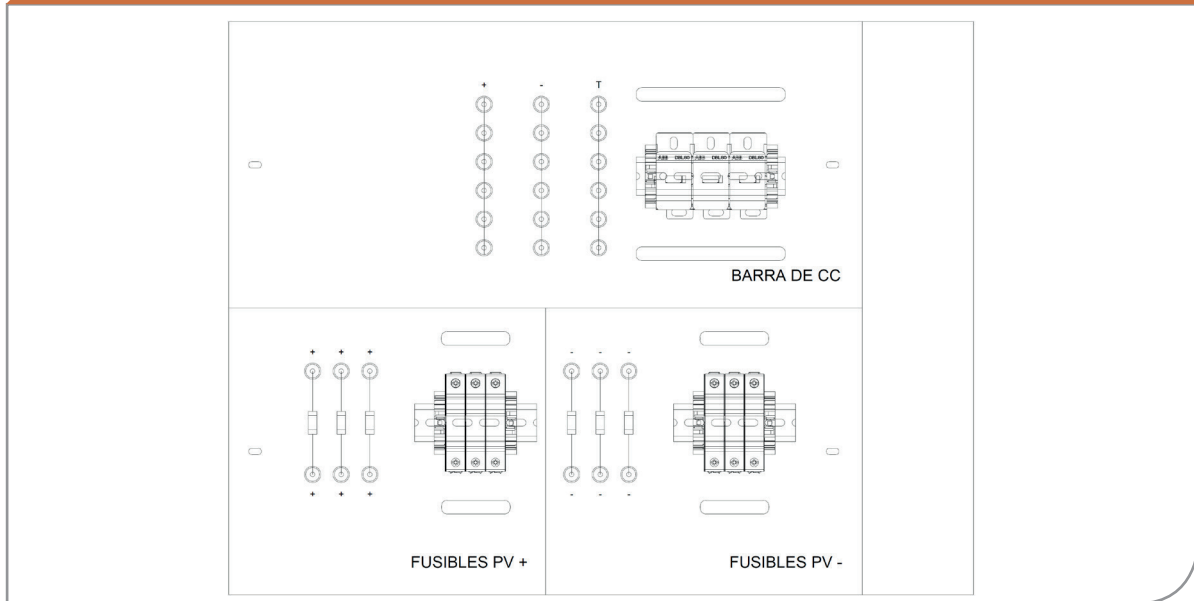
7. PLACA "LB" TARJETA DE PROTECCIONES CA Y BARRA DE CONEXIÓN DE ENERGÍA



8. PLACA "RA" TARJETA DE PROTECCIONES CC



9. PLACA "RB" TARJETA DE CONEXIÓN DE PANELES



Las tarjetas 1, 2 y 3 permiten conocer las siguientes configuraciones:

- Conexión en red con microinversores.
- Conexión en red con un sistema reducido de inversor string.
- Sistemas aislados de paneles fotovoltaicos.

Las tarjetas 4 y 5 permiten medir y usar la energía generada.

Las tarjetas 6 y 7 permiten conocer los métodos de conexión de protecciones de los paneles fotovoltaicos y uso de protecciones CC.

Las tarjetas 8 y 9 permiten conocer el método de conexión a la red CA, las protecciones y componentes usados.

B) Descripción general del Set de paneles fotovoltaicos

Los módulos de paneles móviles con ángulo de inclinación modificable requieren paneles fotovoltaicos y consisten en 2 tipos de paneles independientes:

Set de 1 panel fotovoltaico que permite conexión directa compatible con todos los inversores del equipo didáctico.

Características:

- Cantidad: 1 unidad.
- Potencia nominal: 275W.
- Dimensiones: 992X1650mm.
- Tensión de operación: 31.0Vdc.
- Tensión de circuito abierto: 38.0VCC.
- Corriente de cortocircuito: 9.45Adc.
- Corriente de operación: 8.88Adc.

Este módulo permitirá la conexión con todos los inversores del equipo didáctico, bajo condiciones recomendadas del fabricante, sin necesidad de conectar paneles adicionales para aumentar tensión o corriente.

Set de 6 paneles fotovoltaicos para conexión en serie y paralelo (Arreglos), compatible con todos los inversores del equipo didáctico.

Características:

- Cantidad: 6 unidades.
- Potencia nominal: 50W.
- Dimensiones: 538X669mm.
- Tensión de operación: 17.5Vdc.
- Tensión de circuito abierto: 21.8VCC.
- Corriente de cortocircuito: 3.16Adc.
- Corriente de operación: 2.92Adc.

Este módulo permitirá la conexión con todos los inversores del equipo didáctico, bajo condiciones recomendadas del fabricante.

Cada set de paneles será compatible con la estructura respectiva detallada en la especificación de estructuras.



**SERIE 1. ORIENTACIONES PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA
FOTOVOLTAICO**

**TOMO III. GUÍA DE APOYO PARA ESTUDIANTES: PROGRAMA
EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LICEOS EMTP**

