



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELÉCTRONICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DIDÁCTICO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE
CONEXIÓN A RED, PARA EL LABORATORIO DE FUENTES
ALTERNATIVAS**

**AUTORES: JUAN CARLOS ECHEVER BÁEZ
CÉSAR LUIS NARANJO BARRERA**

TUTOR: ING. MARIO JIMÉNEZ LEÓN

LATACUNGA

2016

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

CERTIFICO

Certifico que el trabajo de titulación, **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE CONEXIÓN A RED, PARA EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS”** realizado por los señores **JUAN CARLOS ECHEVER BÁEZ** y **CÉSAR LUIS NARANJO BARRERA** ha sido revisado y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar a los señores **JUAN CARLOS ECHEVER BÁEZ** y **CÉSAR LUIS NARANJO BARRERA** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, agosto 2016



Ing. Mario Jiménez León.
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **JUAN CARLOS ECHEVER BÁEZ** y **CÉSAR LUIS NARANJO BARRERA**, con cédulas de identidad N° 070372690-1 y 180481482-8, declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE CONEXIÓN A RED, PARA EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, agosto 2016



Juan Carlos Echever Báez
C.C.: 0703726901



César Luis Naranjo Barrera
C.C.: 1804814828



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **JUAN CARLOS ECHEVER BÁEZ** y **CÉSAR LUIS NARANJO BARRERA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA DE CONEXIÓN A RED, PARA EL LABORATORIO DE FUENTES ALTERNATIVAS**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2016



Juan Carlos Echever Báez
C.C.: 0703726901



César Luis Naranjo Barrera
C.C.: 1804814828

DEDICATORIA

Con todo mi amor para mi hijo Teo Martín.

César

Con todo mi respeto y amor para mi madre Mercedes Elizabeth Báez Benalcázar que hizo posible alcanzar este sueño, por inculcarme valores morales y motivarme a lograr mis objetivos.

JUAN

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida, a mis padres Héctor e Isabel, a mi hermano Luis, a mi esposa Vanessa, ya que siempre me brindaron su apoyo a pesar de las adversidades de la vida.

César

Agradezco a toda mi familia por brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

JUAN

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xvi
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY	xix

CAPÍTULO I

1. CONTENIDOS GENERALES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Justificación e importancia.....	2
1.5. Alcances	3

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1. Energía Solar.....	4

2.2. La radiación solar.	4
2.3. Medición de la radiación solar.	8
2.3.1. Métodos de captura de la radiación solar	9
2.3.2. Instrumentos de medida de la radiación solar.	10
2.4. Energía solar fotovoltaica.	11
2.4.1. Origen de la energía solar fotovoltaica.	12
2.4.2. Ventajas e inconvenientes.	13
2.4.3. Potencial de la energía solar fotovoltaica.	13
2.5. Instalaciones fotovoltaicas	16
2.5.1. Instalaciones fotovoltaicas aisladas	16
2.5.2. Instalaciones fotovoltaicas de conexión a red.....	16
2.6. Instalaciones fotovoltaicas de conexión a red.....	17
2.6.1. Introducción	17
2.6.2. Conexión a la red.....	17
2.6.3. Componentes físicos de un sistema de conexión a la red	19
2.6.4. Funcionamiento.	22
2.6.5. Características de un sistema de conexión a red.	22
2.6.6. Instalaciones de baja y media tensión	23
2.7. Elementos de instalaciones fotovoltaicas de conexión a red.	24
2.7.1. Generador fotovoltaico.	24
2.7.2. Inversores.	36
2.7.3. Contadores de energía, telecontrol y monitoreo de datos.	43
2.7.4. Redes y protocolos de comunicación.	46
A. Redes de área local (LAN)	47
B. Ethernet.....	47
2.7.5. Plataforma Cloud.	49
2.7.6. Estructuras y soportes.	53

2.7.7. Dispositivos de protección, seguridad y cableado.	57
---	----

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y SELECCIÓN	61
3.1. Despliegue de la función de calidad	61
3.2. Consideraciones del proyecto.....	61
3.3. Técnica de despliegue de la función de la calidad.....	62
3.4. Beneficios del despliegue de la función de calidad.....	62
3.5. Casa de la Calidad	62
3.5.1. Requerimientos de Clientes.....	63
3.6. La voz del usuario.....	63
3.7. La voz del Ingeniero.	64
3.8. Diagrama de la cada de calidad (ver anexo F)	64
3.9. Conclusiones de la casa de Calidad.....	65
3.10. Descripción del módulo didáctico	65
3.11. Análisis Funcional.....	66
3.11.1. Características de construcción del módulo didáctico.	66
3.12. Estructura Funcional.....	66
3.12.1. Diagrama funcional del módulo didáctico	66
3.12.2. Análisis funcional del sistema estructural	67
3.13. Determinación funcional del diagrama de ensamblaje	68
3.14. Consideraciones del equipo modular.....	68
3.15. Diseño morfológico	68
3.16. Diseño mecánico – eléctrico – electrónico.....	70
3.17. Estructura física y componentes.....	71
3.18. Sistema de generación Fotovoltaico.....	84
3.18.1. Selección del generador fotovoltaico	84

A.	Determinación del número de paneles.....	86
3.19.	Dimensionamiento y selección del microinversor	90
3.19.1.	Dimensionamiento	90
3.19.2.	Selección del microinversor	92
3.20.	Selección de la protección de sobrecorrientes.....	94
3.21.	Selección del contador de energía	94
3.22.	Selección de TC	95
3.23.	Selección del pirómetro de radiación	96
3.24.	Dimensionamiento y selección de conductores	97
3.25.	Configuración del módulo didáctico	100
3.26.	Visualización y Monitoreo de datos	101
3.26.1.	Sunny Explorer	101
3.26.2.	Sunny Portal	102
3.26.3.	CDP-0.....	103
3.26.4.	Evaluación del recurso Solar	104
3.27.	Configuración de la red para módulo didáctico.....	106
3.28.	Cálculo de la producción de energía anual.....	107
3.29.	Reducción de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera	109

CAPÍTULO IV

4.	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....	110
4.1.	Construcción de la estación de trabajo y estructura soporte ..	110
4.2.	Ensamblaje del Módulo Fotovoltaico	113
4.3.	Implementación de los sistemas.....	115
4.4.	Sunny Explorer	115
4.5.	Sunny Portal	116
4.6.	CDP-0.....	118

4.7. Evaluación del recurso solar.....	119
--	-----

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS Y RESULTADOS	121
5.1. Prueba de Comunicación.....	121
5.2. Prueba de Cambio de Hora	121
5.3. Gestión de datos para evaluación del recurso energético	122
5.3.1. Para carga resistiva	123
5.3.2. Para carga RL serie.....	125
5.4. Resultados.....	128

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
6.1. Conclusiones.....	130
6.2. Recomendaciones	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
ANEXOS	138

ANEXO A: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS
UTILIZADOS EN EL MÓDULO DIDÁCTICO.

ANEXO B: PLANOS MECÁNICOS DEL MÓDULO DIDÁCTICO.

ANEXO C: DIAGRAMA ELÉCTRICO DEL MÓDULO DIDÁCTICO.

ANEXO D: MANUAL DE OPERACIÓN DEL MÓDULO DIDÁCTICO.

ANEXO E: GUÍAS DE LABORATORIO.

ANEXO F: DIAGRAMA DE LA CASA DE LA CALIDAD.

ANEXO G: PROGRAMACIÓN EN LABVIEW.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Energía solar	4
Figura 2 El flujo de radiación solar que recibe la tierra por m^2	7
Figura 3 Radiación directa, reflejada y difusa	8
Figura 4 Atlas Solar	9
Figura 5 Energía solar fotovoltaica	11
Figura 6 Satélite de telecomunicaciones Anik	12
Figura 7 Espectro de radiación solar y actividad foto simétrica	15
Figura 8 Instalación fotovoltaica aislada	16
Figura 9 Instalación fotovoltaica con conexión a la red	17
Figura 10 Ejemplo de una instalación de conexión a la red.....	18
Figura 11 Instalaciones solares sobre el suelo	19
Figura 12 Sistema fotovoltaico simplificado con medidor	20
Figura 13 Componentes de un sistema de conexión a la red.....	21
Figura 14 Conversión eléctrica	25
Figura 15 Efecto fotovoltaico	26
Figura 16 Módulos en serie	27
Figura 17 Para módulos en paralelo.....	27
Figura 18 (a) circuito abierto, (b) en corto, (c) con carga.....	28
Figura 19 Curva I-V y potencia para un módulo fotovoltaico	29
Figura 20 Punto de máxima potencia (MPP) con el mayor rectángulo	30
Figura 21 Componentes del panel solar	36
Figura 22 Ramales cortos.....	39
Figura 23 Ramales largos.....	39
Figura 24 Configuración maestro esclavo	40
Figura 25 Configuración inversor por ramal.....	41
Figura 26 Microinversor	41
Figura 27 Ethernet.....	47
Figura 28 Plataforma Cloud.....	50
Figura 29 Tipos de plataforma Cloud.....	51
Figura 30 Características de la plataforma Cloud.....	52
Figura 31 Estructura soporte sobre el tejado.....	54
Figura 32 Ajustes en fachada	54

Figura 33 Elementos de Tornillería.....	56
Figura 34 Cubierta plana	57
Figura 35 Bornera de conexión.....	58
Figura 36 Diferencial Bipolar	59
Figura 37 Curva C, Para protección de circuitos	59
Figura 38 Casa de la Calidad	63
Figura 39 Diagrama de la Casa de la Calidad	64
Figura 40 Diseño Morfológico de la estación de trabajo	72
Figura 41 Estructura de la estación de trabajo	72
Figura 42 Geometría de la estación de trabajo.....	74
Figura 43 Mallado criterio Ratio Jacobiano.....	74
Figura 44 Condiciones de Borde	75
Figura 45 Punto de acción de la carga	75
Figura 46 Análisis de esfuerzos en la estación de trabajo.....	75
Figura 47 Análisis de deflexiones de la estación de trabajo.	76
Figura 48 Análisis del factor de seguridad.....	76
Figura 49 Diseño morfológico de la estructura soporte.	78
Figura 50 Estructura soporte	78
Figura 51 Geométrica de la estructura soporte	79
Figura 52 Mallado criterio Ratio Jacobiano.....	80
Figura 53 Condiciones de borde.....	80
Figura 54 Punto exacto de acción de la carga.....	80
Figura 55 Análisis de esfuerzos de la estructura soporte.	81
Figura 56 Análisis de deflexiones de la estructura soporte.....	81
Figura 57 Análisis de factor den seguridad.....	82
Figura 58 Soporte para los módulos.....	83
Figura 59 Mecanismo de sujeción y posicionamiento.....	84
Figura 60 Configuración del módulo didáctico.....	100
Figura 61 Sunny Explorer	101
Figura 62 Interfaz Sunny Portal	103
Figura 63 Interfaz CDP-0.....	104
Figura 64 Diagrama funcional.....	105
Figura 65 Programación en LabVIEW	106
Figura 66 HMI	106

Figura 67 Configuración de la mini red en el módulo didáctico	107
Figura 68 Construcción de la estación de trabajo.....	111
Figura 69 Construcción de la estructura soporte	112
Figura 70 Construcción del mecanismo de sujeción y posicionamiento	113
Figura 71 Puertos ethernet de los equipos	121
Figura 72 Pasos para el cambio de hora y fecha en el CDP-0.....	122
Figura 73 Potencia-horas día mediante el Sunny Explorer.....	123
Figura 74 Irradiancia-horas día mediante el sensor SP-110.....	125
Figura 75 Potencia-horas día mediante el Sunny Explorer.....	126
Figura 76 Radiación-horas día mediante el sensor SP-110	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica	13
Tabla 2 Tipos de células.....	31
Tabla 3 Redes y Protocolos de Comunicación	46
Tabla 4 Redes de área local (LAN).....	47
Tabla 5 Aplicaciones ethernet.....	48
Tabla 6 Ventajas y desventajas de la plataforma cloud.....	52
Tabla 7 Descripción del Módulo Didáctico	65
Tabla 8 Matriz de decisión de la estación de trabajo.	69
Tabla 9 Características de la estructura soporte	70
Tabla 10 Datos técnicos del módulo didáctico.....	71
Tabla 11 Matriz de decisión del generador fotovoltaico.....	85
Tabla 12 Matriz de decisión del Microinversor.....	92
Tabla 13 Datos técnicos del Sunny Multigate	93
Tabla 14 Parámetros de selección	94
Tabla 15 Matriz de decisión para el contador de energía	95
Tabla 16 Transformador de corriente	96
Tabla 17 Matriz de decisión para el Piranómetro de radiación	96
Tabla 18 Conductores de Cobre.....	98
Tabla 19 Pérdidas en el rendimiento de la instalación.....	108
Tabla 20 Ensamblaje del módulo didáctico	114
Tabla 21 Instalación y puesta en marcha del Sunny Explorer	115
Tabla 22 Configuración del portal web para el Sunny Portal	117
Tabla 23 Proceso de configuración del portal web para el CDP-0	118
Tabla 24 Acople del Piranómetro a la estructura soporte	119
Tabla 25 Datos potencia-horas del día por el Sunny Explorer.....	123
Tabla 26 Datos adquiridos por el CDP-0	124
Tabla 27 Datos irradiancia-horas día por el sensor SP-110	125
Tabla 28 Datos potencia-horas día por el Sunny Explorer	126
Tabla 29 Datos irradiancia-horas día por el sensor SP-110	126
Tabla 30 Datos adquiridos por el CDP-0	127
Tabla 31 Cálculos de eficiencias	128
Tabla 32 Potencias medidas por Sunny Explorer y CDP-0	129

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Energía solar que alcanza la Tierra.....	6
Ecuación 2	Voltaje del módulo fotovoltaico.....	26
Ecuación 3	Voltaje del módulo fotovoltaico.....	26
Ecuación 4	Factor de llenado.....	29
Ecuación 5	Temperatura de la celda.....	31
Ecuación 6	Temperatura de la celda.....	31
Ecuación 7	Potencia máxima que entrega el panel.....	33
Ecuación 8	Potencia.....	43
Potencia 9	Energía.....	43
Ecuación 10	Esfuerzo permisible.....	73
Ecuación 11	Deflexión permisible.....	73
Ecuación 12	Condición de diseño 1.....	76
Ecuación 13	Condición de diseño 2.....	77
Ecuación 14	Potencia del campo solar.....	88
Ecuación 15	Número de paneles.....	88
Ecuación 16	Temperatura del panel.....	88
Ecuación 17	Diferencial de voltaje.....	89
Ecuación 18	Voltaje máximo a potencia pico.....	89
Ecuación 19	Voltaje máximo de circuito abierto.....	90
Ecuación 20	Potencia del inversor.....	90
Ecuación 21	Número de paneles en serie.....	91
Ecuación 22	Número de paneles en serie.....	91
Ecuación 23	Número de hileras en paralelo.....	91
Ecuación 24	Sección transversal del conductor en mm^2 (CC).....	97
Ecuación 25	Criterio de ampacidad (CC).....	98
Ecuación 26	Sección transversal del conductor en mm^2 (CA).....	99
Ecuación 27	Criterio de amapacidad (CA).....	99
Ecuación 28	Energía producida anual.....	107
Ecuación 29	Eficiencia de la instalación.....	108
Ecuación 30	Ahorro de toneladas de CO_2	109
Ecuación 31	Impedancia.....	125

Ecuación 32 Eficiencia.....	128
Ecuación 33 Potencia de entrada.....	128

RESUMEN

En el siguiente proyecto se realiza el diseño e implementación de un sistema didáctico de generación fotovoltaica de conexión a red, en el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía, con una potencia instalada de 230 Wp. El sistema cuenta con una mini red de conexión ethernet para comunicar cada uno de los equipos como: el Sunny Multigate y CDP-0 con el sistema de generación fotovoltaico, así los equipos realizan el monitoreo y la adquisición de las magnitudes eléctricas como: voltaje, potencia y frecuencia; lo que permite realizar la gestión del recurso energético. El sistema dispone de un sensor de radiación, que mide el recurso solar disponible para el módulo didáctico, éste cuenta de un programa en LabVIEW que permite monitorear y adquirir los datos de radiación solar. Los equipos de monitoreo y adquisición de datos operan simultáneamente, para que los datos obtenidos estén en el mismo tiempo en que se realicen las pruebas. El Sunny Multigate inyecta energía eléctrica a la red pública sin necesidad del contador de energía bidireccional. El CDP-0 gestiona la energía producida por el generador fotovoltaico, carga y red pública.

PALABRAS CLAVE:

GENERADOR FOTOVOLTAICO

MEDIDOR BIDIRECCIONAL

MICROINVERSORES

ENERGÍA SOLAR

SUMMARY

The following project design and implementation of a training system for photovoltaic generation network connection in the laboratory of Alternative Energy Sources, with an installed power of 230 Wp is performed. The system has a mini network Ethernet connection to communicate each of the teams as the Sunny Multigate and CDP-0 system with photovoltaic generation and the teams perform monitoring and acquisition of electrical quantities such as voltage, power and frequency; allowing for the management of energy resources. The system has a radiation sensor, which measures the solar resource available for the training module, this account of a LabVIEW program that allows you to monitor and acquire data from solar radiation. Monitoring equipment and data acquisition systems operate simultaneously, so that the data are in the same time the tests are performed. Sunny Multigate injects power into the public grid without bidirectional energy meter energy. The CDP-0 manages the energy produced by the photovoltaic generator, load and public network.

KEYWORDS:

PHOTOVOLTAIC GRID CONNECTION

BIDIRECTIONAL METER

MICROINVERTERS

SOLAR RESOURCE

CAPÍTULO I

1. CONTENIDOS GENERALES

1.1. Introducción

En el Ecuador, el Gobierno Nacional apoya a la ejecución de proyectos de energías renovables. A esto se suma su posición geográfica, que se puede aprovechar la energía del Sol a la mayor de sus capacidades. La globalización científica ha provocado la implementación de proyectos de energías renovables en el País y de hecho permiten reducir el consumo energético proveniente de recursos fósiles que contaminan el medio ambiente por el efecto invernadero y que ponen en riesgo las reservas energéticas no renovables.

El departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE extensión Latacunga implementó un sistema didáctico de generación híbrido (fotovoltaica/eólica) aislado, equipamiento que forma parte del laboratorio de Fuentes de Energías Alternativas y que es utilizado para actividades de docencia e investigación aplicada a las energías no convencionales y a su difusión como alternativa no contaminante que puede ser aplicado esencialmente en el sector rural. Actualmente el laboratorio no dispone de un sistema que permita el estudio de energía solar fotovoltaica con conexión a red.

Por lo tanto, la implementación en los últimos años en el País en proyectos de energía solar fotovoltaica con conexión a red, motiva a la Universidad a implementar sistemas didácticos donde los estudiantes puedan realizar prácticas para difundir la importancia del uso de energías alternativas en el Ecuador para satisfacer la demanda y la conservación de la naturaleza.

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los problemas con los que cuenta el país es la contaminación del medio ambiente debido al mal manejo de los recursos no renovables y desechos tóxicos, provocados por la mano del hombre en los cuales se encuentran un sin número de ejemplos, dando como consecuencia el gas de

efecto invernadero. Para ello se requiere incentivar a la población en la construcción de sistemas fotovoltaicos de conexión a la red, asegurando la demanda en el sistema, como la reducción del uso de las centrales de generación con derivados del petróleo, de tal manera las energías renovables en el país serán el soporte de una energía agotable como también un apoyo a la conservación de la naturaleza. Así se podrá alcanzar un cambio en la matriz productiva como un cambio cultural que determinará un nuevo por venir para el país.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el diseño e implementación de un sistema didáctico de generación fotovoltaica de conexión a la red, en el laboratorio de Fuentes Alternativas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el recurso solar que se disponible.
- Realizar el estudio de los diferentes componentes del sistema.
- Seleccionar y adquirir los componentes del sistema didáctico.
- Implementar el módulo didáctico y realizar las pruebas de funcionamiento.
- Monitorear las magnitudes eléctricas en el sistema.
- Realizar un estudio de la energía producida por el sistema.
- Elaborar las guías de laboratorio.

1.4. Justificación e importancia

Considerando que es necesaria la investigación del uso de las energías renovables en contribución al ecosistema, como a su vez, asegurando alternativas en la matriz productiva. El proyecto dispone de un módulo didáctico de generación fotovoltaica de conexión a la red que permite el monitoreo de las magnitudes eléctricas del sistema como la adquisición de las mismas, ya que el laboratorio de energías alternativas solo cuenta con un sistema fotovoltaico de conexión aislada. Este sistema permitirá desarrollar prácticas en el laboratorio facilitando la enseñanza y aprendizaje teórico práctico.

1.5. Alcances

Mediante la construcción del módulo didáctico se podrá realizar la gestión del recurso solar que dispondrá el sistema didáctico de conexión a red mediante las guías de laboratorio, elaboradas utilizando el criterio de las funciones que desempeñan los equipos en el sistema didáctico.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Energía Solar

Casi todas las fuentes de energía hidráulica, biomasa, eólica, combustibles fósiles y energías de los océanos son formas indirectas de energía solar. El Sol produce continuamente 390 sextillones (390×10^{21}) de kilowatts de potencia. Como el Sol emite energía en todas las direcciones, un poco de esta energía es desperdiciada, así y todo, la Tierra recibe más de 1500 cuatrillones ($1,5 \times 10^{18}$) de kilowatts-hora de energía por año. (Finder, 2013)

La radiación solar puede ser utilizada directamente como fuente de energía térmica, para calentamiento de líquidos y ambientes, y para generación de potencia mecánica o eléctrica. Puede ser convertida directamente en energía eléctrica, por medio de efectos sobre determinados materiales, entre los cuales se destacan el termoelectrónico y el fotovoltaico (Finder, 2013).



Figura 1 Energía solar

Fuente: (SMI Energías Renovables, 2011)

2.2. La radiación solar.

La radiación solar es el flujo de energía que llega del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). Aproximadamente de la mitad de las frecuencias que se reciben están comprendidas entre $0,4 \mu m$ y $0,7 \mu m$ y pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que se denomina como luz visible. De la otra mitad,

la mayoría se sitúa en la parte infrarroja (IR) del espectro y una pequeña parte de ultravioleta (UV). (Castells, 2012)

La radiación que llega a la Tierra está compuesta de 9% ultravioleta, 42% radiación visible y 49% infrarroja. La energía de los fotones, para cada tipo de radiación, es: UV de 70 kcal/mol a 46000 kcal/mol , luz visible de 37 kcal/mol a 74 kcal/mol y el IR de 2 kcal/mol a 37 kcal/mol . (Castells, 2012)

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, pueden distinguir los siguientes tipos de radiación.

- **Radiación directa.** Es aquella que llega sin ningún tipo de interrupción desde el Sol, sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan. (Castells, 2012)
- **Radiación difusa.** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbidas por estas. Esta radiación que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, arboles, edificios, el propio suelo, entre otros. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. En consecuencia, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque solo ven la mitad. (Castells, 2012)
- **Radiación reflejada.** Se refiere a la radiación que rebota sobre la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. (Castells, 2012)
- **Radiación global.** La radiación global es la suma de las tres radiaciones.

En un día despejado, la radiación directa predomina sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa. (Castells, 2012)

La radiación solar que incide en la Tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar, ya sea directamente, a través de la captación de la radiación por dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde. (Castells, 2012)

Siendo la distancia entre el Sol y la Tierra de 1.5×10^{11} metros, el flujo de energía solar que alcanza la Tierra es de:

$$Energía_{solar \text{ que alcanza la tierra}} = \frac{3,87 * 10^{26}}{4\pi(1,5 \cdot 10^{11})^2} = 1369 \frac{W}{m^2} \quad \text{Ec. (1)}$$

La irradiación directa fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene el valor de $1367 \pm 7 W/m^2$ (que corresponde a un valor máximo en el perihelio (punto del planeta más cercano al sol) de $1395 W/m^2$ y un valor mínimo en el afelio (punto del planeta más alejado del sol de $1308 W/m^2$), valor que se denomina constante solar. Este valor se ha comprobado con precisión mediante medidas desde los satélites artificiales, y es muy próximo al calculado. Mediante la constante solar se puede calcular el flujo medio que incide por metro cuadrado en la superficie esférica exterior de la atmósfera (tope de la atmósfera), valor que es, aproximadamente, de una cuarta parte: unos $342 W/m^2$. En efecto, el total de la energía solar por metro cuadrado que continuamente es interceptado por el planeta Tierra es igual al valor de la constante solar, $1367 W/m^2$, multiplicando por la sección recta de la superficie de un círculo imaginario πR^2 (siendo R el radio de la Tierra), que divide a la Tierra en dos partes y que es perpendicular a la dirección de la radiación, tal como se indica en la (Figura 2) (Castells, 2012)

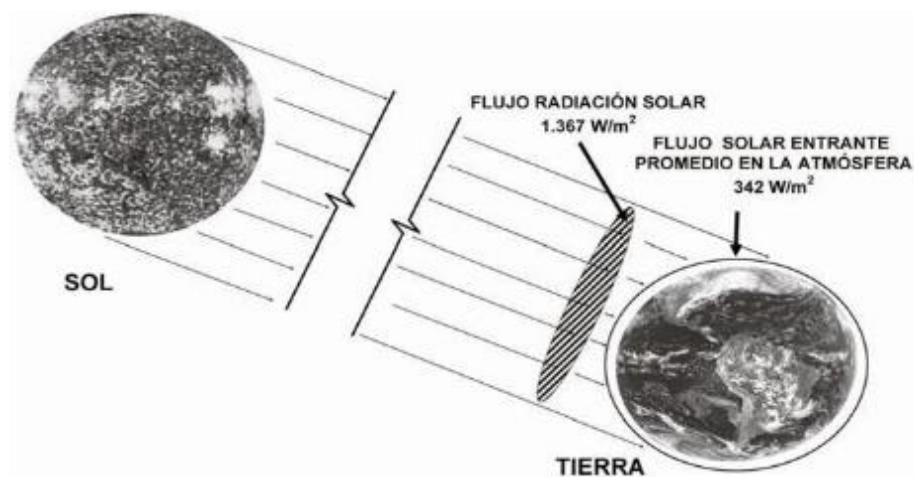


Figura 2 El flujo de radiación solar que recibe la tierra por m^2

Fuente: (Guerrero, 2011)

Por lo tanto equivale a $1368 * \pi R^2$ vatios. Como la superficie de la Tierra es esférica, su superficie ($4\pi R^2$) es cuatro veces mayor que la superficie del círculo transversal (πR^2), por lo que el flujo promedio que se reparte por el conjunto de la esfera, día y noche, es cuatro veces menor. (Castells, 2012)

El balance de los flujos de energía que llega a la Tierra es complejo. Los flujos de energía que atraviesan verticalmente la atmósfera, hacia abajo en dirección a la tierra y hacia arriba o el exterior son un factor esencial del clima. Sus variaciones pueden deberse a alteraciones en la composición química y física del aire, pueden estar en el origen de muchos cambios climáticos. Se diferencian tres tipos de flujo de energía: 1) la radiación directa solar, que penetra y atraviesa la atmósfera de arriba hacia abajo; 2) la radiación reflejada, que es transmitida en sentido opuesto, de abajo hacia arriba; 3) la radiación difusa, o radiación atmosférica, que el propio aire emite en ambas direcciones, hacia abajo y hacia arriba, y entre las que se encuentra el origen del “efecto invernadero”. Todos los flujos y su balance están reflejados en la (Figura 3). (Castells, 2012)

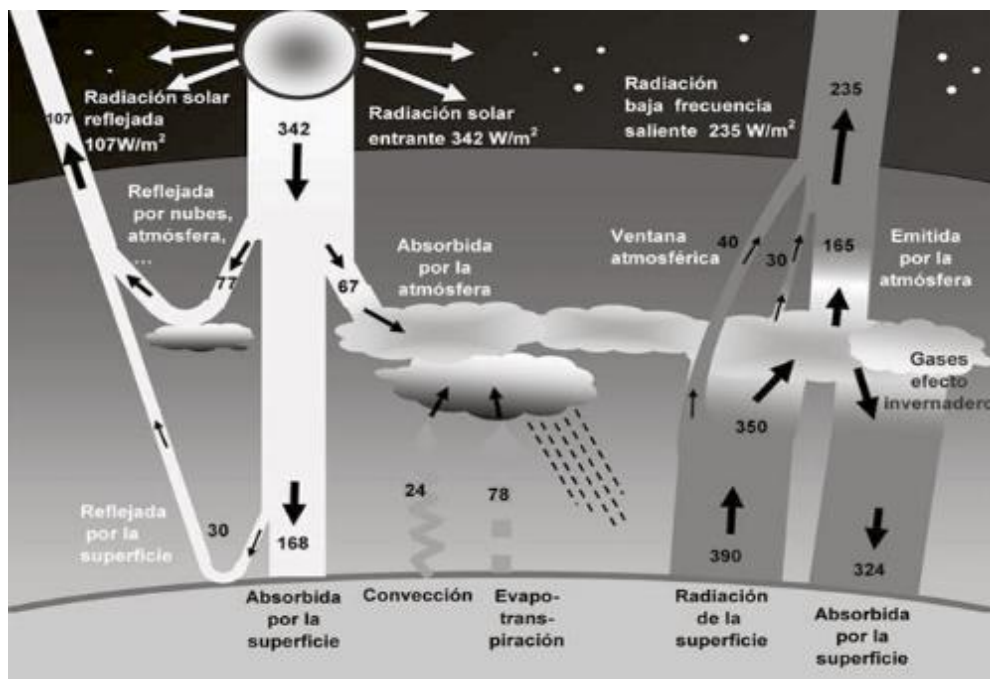


Figura 3 Radiación directa, reflejada y difusa

Fuente: (Guerrero, 2011)

2.3. Medición de la radiación solar.

La radiación emitida por el sol se distribuye en un amplio espectro de longitudes de onda, correspondiendo la mayor parte de la energía radiada a la proporción comprendida entre $0,2$ y $3,0 \mu m$ con una distribución espectral muy parecida a la producida por un radiador integral (cuerpo negro) a $5777K$. Alrededor de la mitad de la energía se encuentra dentro de la banda visible ($0,39 - 0,77 \mu m$). El resto corresponde casi por completo a radiación infrarroja y un pequeño porcentaje a la radiación ultravioleta. (Pérez Carrasco, Daniel)

La importancia de medir la radiación solar es la de evaluar este recurso para, determinar lugares estratégicos en los que se pueda implementar centrales de generación fotovoltaica, para sistemas aislados o simplemente para cuantificarlo. (Pérez Carrasco, Daniel)

En el Ecuador el organismo encargado de cuantificar este recurso es ARCONEL (Agencia de Control y Regulación de Electricidad), se muestra a

continuación el mapa que representa la radiación directa promedio obtenida en el año 2008. (ARCONEL, 2008)

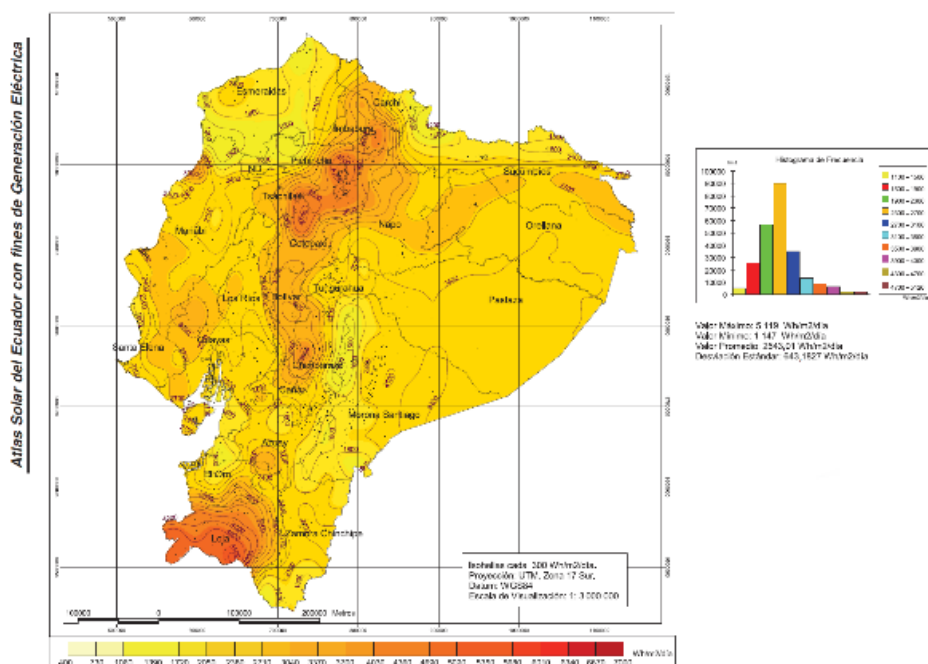


Figura 4 Atlas Solar

Fuente (ARCONEL, 2008)

2.3.1. Métodos de captura de la radiación solar

Los métodos de captura de la energía solar se clasifican en directos o indirectos y activos o pasivos. (Finder, 2013)

A. Métodos Directos

Son aquellos en que ocurre solo una conversión, para hacer de la luz solar un tipo de energía utilizable para el hombre. Ejemplos: transformación de la radiación solar en energía eléctrica o la radiación solar en energía térmica. (Finder, 2013)

B. Métodos Indirectos

Son aquellos en que deberá haber más de una conversión para que surja energía utilizable. Por ejemplo, los sistemas que controlan automáticamente persianas, de acuerdo con la disponibilidad de luz del Sol. (Finder, 2013)

C. Sistemas Pasivos

Son generalmente directos, a pesar de involucrar (algunas veces) flujos en convección, que es técnicamente una conversión de calor en energía mecánica. (Finder, 2013)

En promedio, la energía de la luz solar que alcanza la Tierra es de un kilowatio por metro cuadrado. Según la Asociación para la Investigación sobre Energía Solar (Research Association for Solar Power), se produce energía de forma masiva a una velocidad de 2850 veces más de la que se necesita en el mundo hoy en día. En un día, la luz solar que llega a la tierra produce la energía suficiente para satisfacer durante 8 años la actual demanda energética a nivel mundial, y aunque sólo un porcentaje de ese potencial es técnicamente accesible, es suficiente para generar casi 6 veces la energía mundial actual. (Finder, 2013)

2.3.2. Instrumentos de medida de la radiación solar.

Los instrumentos para medir de radiación solar, son indispensables para evaluar el recurso solar disponible en una región específica. Para la medida de la radiación solar se utilizan los radiómetros, los cuales pueden ser de dos tipos: piranómetros y pirheliómetros. La forma en la que actúan estos sensores es la conversión de la energía que proviene del sol, en principalmente energía eléctrica. Esta energía dependerá, por otra parte, de la inclinación y en su caso de la orientación, en la que esté situado el sensor. (Pérez Carrasco, Daniel)

A. Piranómetros de radiación

Este instrumento está diseñado para medir la radiación solar en una superficie plana, en un ángulo de 180°

a. Composición

La termopila (sensor) está compuesta por sectores blancos y negros ya que puede absorber la radiación entre 300 nm y 5000 nm, su resultado es casi perfecto al coseno del ángulo de incidencia. La cúpula de cristal limita la respuesta al rango en 300 nm a 2800 nm, permitiendo un rango de visión

de 180°. También protege a la termopila de la convección. Las bandas negras de la termopila absorben la radiación que se transforma en calor, este atraviesa hasta el cuerpo del piranómetro, proporcionando una señal eléctrica proporcional a la radiación incidente. (EcuRed, 2010)

b. Medición

El espectro de radiación para el piranómetro comprende un rango de funcionamiento entre 300 y 2800 nm. El requerimiento principal para medir la radiación solar, es la respuesta al flujo de radiación que cambia con el coseno de los ángulos de incidencia: por ejemplo, para una máxima respuesta cuando el flujo incidente sobre el sensor es 0°, y se obtiene una respuesta nula cuando el sol esta horizontalmente 90°. (EcuRed, 2010)

2.4. Energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica se define como la tecnología que es utilizada para el aprovechamiento de la energía del sol y convertirla en energía eléctrica, a partir de células fotovoltaicas. Estas células permiten que la radiación emitida por el sol se transforme directamente en electricidad, aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)



Figura 5 Energía solar fotovoltaica

Fuente: (Guerrero, 2011)

2.4.1. Origen de la energía solar fotovoltaica.

Si se habla de sus orígenes, Edmund B., fue la primera persona en observar que ciertos materiales podían generar corrientes eléctricas una vez expuesta a la luz, esto sucedió en 1839 cuando realizó experimentos mediante dos electrodos metálicos en solución conductora, lo que sucedió fue generación eléctrica mediante la exposición en la luz. Un nuevo paso surgió en 1873 por Willoughby S. impulsado por los hallazgos de Edmund B, pero ahora en un medio sólido como el selenio, pero se necesitaron más de cien años partiendo desde este punto para que alcance un desarrollo la energía solar fotovoltaica permitiendo así aplicarla y usarla. El hallazgo realizado por Willoughby S. generó en W. G Adams y R. E. Day a realizar la primera célula fotovoltaica de selenio en 1977. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

Fue por A. Einstein debido a sus teorías y fórmulas en 1904 que explican este efecto fotovoltaico, lo que permitió que D. M. Chaplin, C. S. Fuller y G. L. Pearson en 1954 facilitaron sus estudios para construir la primera célula de silicio la cual permitía obtener energía eléctrica mediante la exposición de la luz de forma directa permitiendo hacer funcionar una radio a transistores. Esta célula tenía una eficiencia del 6%. Quienes han aportado con el desarrollo de esta energía han sido los programas espaciales ya que los paneles han sido fuente de energía en los satélites de hoy en día. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)



Figura 6 Satélite de telecomunicaciones Anik

Fuente: (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

2.4.2. Ventajas e inconvenientes.

Tabla 1

Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica

Ventajas	Inconvenientes
Limpia, renovable y no cuesta dinero.	Menor rendimiento.
Disminución de costos de mantenimiento.	El precio por KWH generado es más caro, en comparación a otras tecnologías.
La instalación es fácilmente modulable.	Los niveles de radiación varían dependiendo de la zona donde se encuentre o la estación del año.
Instalaciones silenciosas y sencillas.	Gran inversión inicial.
El impacto ambiental es nulo.	Para instalaciones de gran potencia se necesita una superficie extensa.
Su fuente es inagotable.	El almacenamiento es costoso.

2.4.3. Potencial de la energía solar fotovoltaica.

La energía fotovoltaica no indica que sea la única forma de obtener energía eléctrica mediante el recurso solar. Tal vez no exista consciencia con una buena parte de las fuentes eléctricas existentes, aparentando no tener relación con el sol, pero también se abastecen de energía partiendo de los fotones que llegan del sol, así se tiene: (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

- Hace millones de años, las plantas mediante fotosíntesis, atraparon la energía solar en forma de moléculas orgánicas que han llegado hasta hoy en sus cuerpos fosilizados en forma de petróleo, carbón, entre otros; es la energía fósil. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)
- La energía eólica, donde la energía primaria es el viento que actúa moviendo las aspas que se encuentran acopladas al generador eléctrico, pero sin olvidar que la energía eólica también procede del sol, ya que el viento se genera cuando existe diferencia de presiones, que se producen

cuando el sol calienta ciertas regiones más que otras. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

- La energía hidráulica obtiene energía mediante generadores eléctricos cuando utiliza la energía potencial de agua acumulada en las alturas superiores al nivel del mar, y así de nuevo el sol tiene su parte de contribución ya que aprovecha el agua de los mares, incrementando la energía potencial del agua. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

Es necesario tener presente que todas las fuentes de energías alternativas antes mencionadas necesitan del sol para producir su energía primaria en electricidad, mientras que la energía fotovoltaica produce electricidad de manera directa. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

En la Figura 7 se observa el espectro solar, indicando que no es el mismo en cada lugar del mundo, y además no se puede decir que sea el mismo espectro en un punto determinado ya que éste cambia con el transcurso de las horas. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

La luz que irradia el sol de color blanca, está conformada por la unión de colores del arco iris, así cada uno con su longitud de onda. Estas gamas de colores van desde el violeta (380 nm) hasta el rojo con (770 nm), mediante los detalles que muestra la distribución espectral en la figura 7. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

En la gráfica de distribución espectral indica que el color azul está formado por fotones.

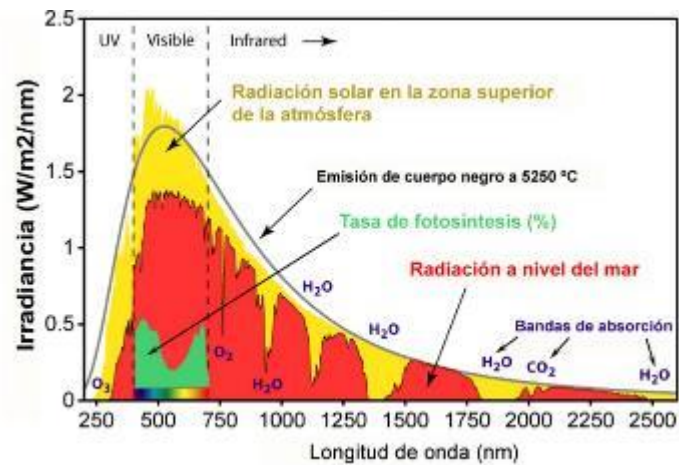


Figura 7 Espectro de radiación solar y actividad foto simétrica

Fuente: (Naturalmente Ciencias, 2011)

El Sol emite radiación en cada una de las direcciones, esto se debe a la interpretación por la Tierra, de tal forma que permite identificar la magnitud constante solar, G_{SC} , que es: la energía por unidad de tiempo con respecto a la unidad de superficie perpendicular a la dirección de la radiación entre el Sol y la Tierra. Para estimar este valor se supone al Sol como un cuerpo negro a una temperatura de 5762 K, entonces se obtiene como constante solar un valor de $1359 W/m^2$. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

Con un aproximado del 85% de energía solar que incide sobre los módulos se pierde en forma de calor y un 90% en caso de módulos hechos de silicio no cristalino o de tipo amorfo. Esto se debe a las pérdidas por las características constructivas, geométricas del propio módulo como a su vez a la propia naturaleza física del efecto de conversión fotovoltaica. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

Una cifra indica que en el 2030 la capacidad instalada a nivel mundial mediante sistemas fotovoltaicos sería de 18000 GW con un aproximado del 73% de la capacidad global mediante la conexión a la red principalmente en los países industrializados. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

2.5. Instalaciones fotovoltaicas

2.5.1. Instalaciones fotovoltaicas aisladas

El tipo de instalaciones aisladas o autónomas, son útiles en zonas donde no exista o no sea accesible las acometidas eléctricas, es decir, los sectores rurales, ya sea en aplicaciones industriales: como torres de telecomunicaciones, antenas entre otros. Los sistemas mencionados necesitan de acumuladores de energía-baterías para que la energía producida durante el periodo de uso sea utilizada posteriormente en las aplicaciones que el usuario lo requiera. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

La Figura 8 proporciona el esquema básico de una instalación fotovoltaica aislada.

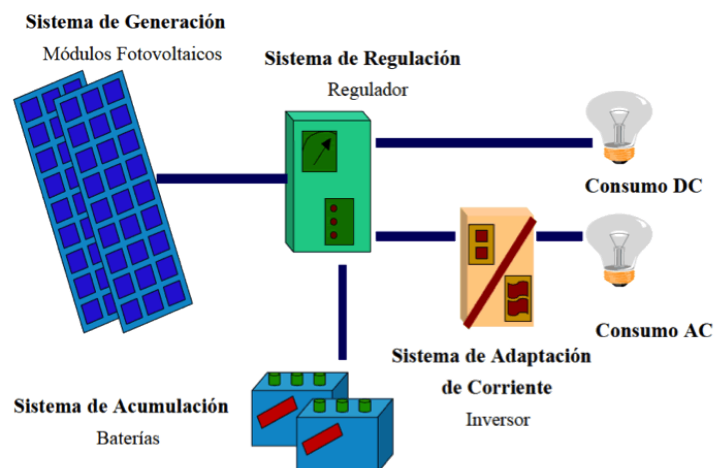


Figura 8 Instalación fotovoltaica aislada

Fuente: (Sunfields, 2015)

2.5.2. Instalaciones fotovoltaicas de conexión a red

Un sistema fotovoltaico conectado a la red al contrario de los aislados no posee acumuladores de energía porque su funcionamiento consiste básicamente en un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica. El concepto de inyección a red tiene un amplio margen de aplicaciones, desde pequeños sistemas de pocos kilowatios pico (kWp) de potencia instalada hasta centrales de varios (MWp). En la Figura 9 se muestra un diagrama de los componentes principales de un sistema de conexión a red. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

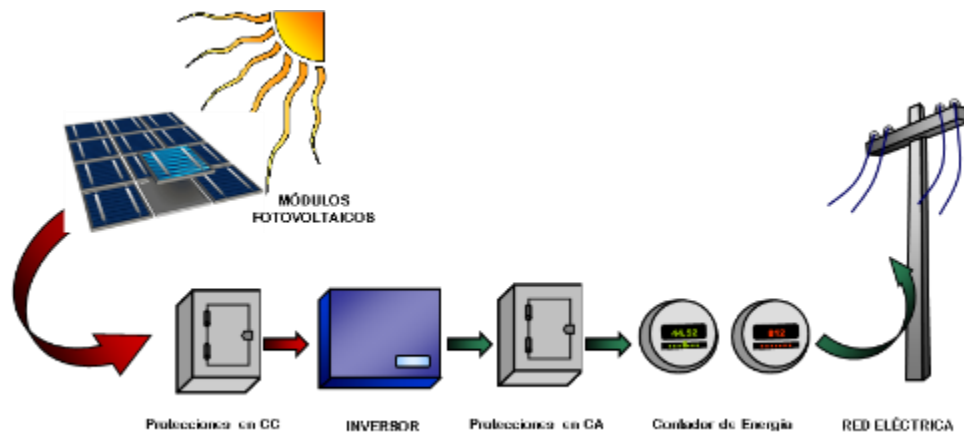


Figura 9 Instalación fotovoltaica con conexión a la red

Fuente: (Ingenova, 2010)

2.6. Instalaciones fotovoltaicas de conexión a red

2.6.1. Introducción

Las instalaciones conectadas a la red vierten su energía a la red pública, sin necesidad de que exista un dispositivo de acumulación. La corriente eléctrica que transmite la red debe tener una frecuencia específica, y las instalaciones de generación eléctrica, del tipo que sean, deben proporcionar la corriente con esa frecuencia, para evitar perturbar el comportamiento de la red. En esta clase de instalaciones, por tanto, el dispositivo inversor cobra una importancia decisiva. (Moro, 2010)

Las instalaciones conectadas a la red eléctrica se suelen distinguir por un lado: instalaciones monofásicas y trifásicas; por otro, se distingue en baja tensión e instalaciones en media tensión. (Moro, 2010)

2.6.2. Conexión a la red

Dentro del mundo de la energía solar fotovoltaica, el campo denominado “Instalaciones conectadas a red” es el más utilizado. Estos sistemas se basan en captar la radiación solar emitida hacia la Tierra todos los días del año y transformada en energía eléctrica mediante la instalación de un campo fotovoltaico, compuesto por paneles solares. (Guerrero, 2011)

Posteriormente esta energía se vierte directamente en la red de distribución eléctrica mediante un inversor de corriente específico para este tipo de instalaciones. (Guerrero, 2011)

Estas instalaciones, y de forma básica se puede dividir en dos tipos:

- Sobre una edificación:

Esencialmente el sistema se compone de un campo de paneles fotovoltaicos y un inversor de características especiales, y que es el elemento clave de la conexión. A continuación, se muestra un ejemplo de una instalación de conexión a red. (Guerrero, 2011)

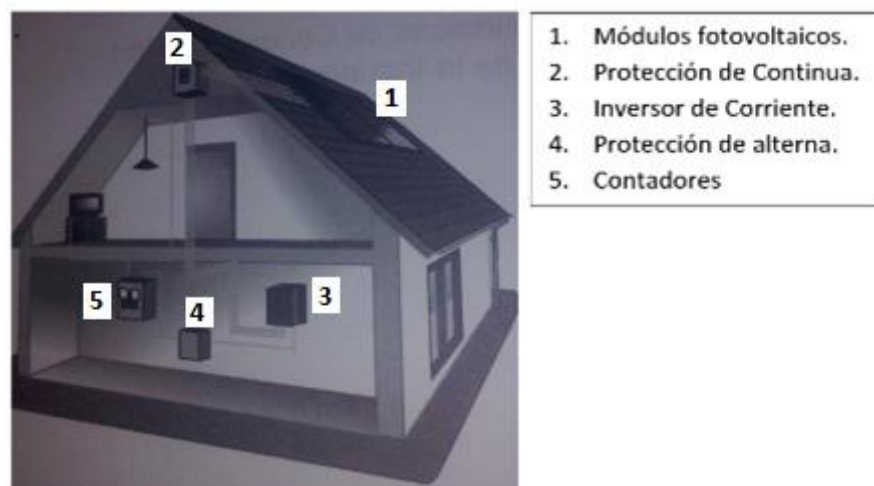


Figura 10 Ejemplo de una instalación de conexión a la red.

Fuente: (Méndez & Cuervo, 2013)

- En el suelo:

Se trata de centrales solares fotovoltaicas, generalmente son grandes extensiones de paneles solares fotovoltaicos que pueden estar fijos al terreno y con sistemas de seguimiento solar a fin de optimizar la captación de radiación solar. Normalmente estas instalaciones se ubican en la proximidad de subestaciones o líneas eléctricas que faciliten su conexión a la red eléctrica (Méndez & Cuervo, 2013).



Figura 11 Instalaciones solares sobre el suelo

Fuente: (Méndez & Cuervo, 2013)

Estos sistemas evitan costos de adquisición de terreno, ya que estos sistemas se encuentran en propiedad de los usuarios compitiendo por precios más elevados de la electricidad. En diferencia de los sistemas aislados son: (Méndez & Cuervo, 2013)

- Menos costosos.
- Mayor eficiencia.
- Fiabilidad.
- No poseen Baterías.
- Generadores de respaldo.

2.6.3. Componentes físicos de un sistema de conexión a la red

En la figura 12 se encuentra simplificado un sistema fotovoltaico conectado a la red, se muestra una residencia unifamiliar (aproximadamente para una capacidad de generación de 1-10 KW). En sistemas similares como un edificio comercial se hablan de decenas de KW o tal vez en megavatios de capacidad. Estos sistemas normalmente se encuentran en los tejados y tal vez en estacionamientos; los sistemas residenciales y comerciales son físicamente lo mismo, pero con la diferencia en las tarifas de servicios públicos y los incentivos financieros. (Willey & Masters, 2013)

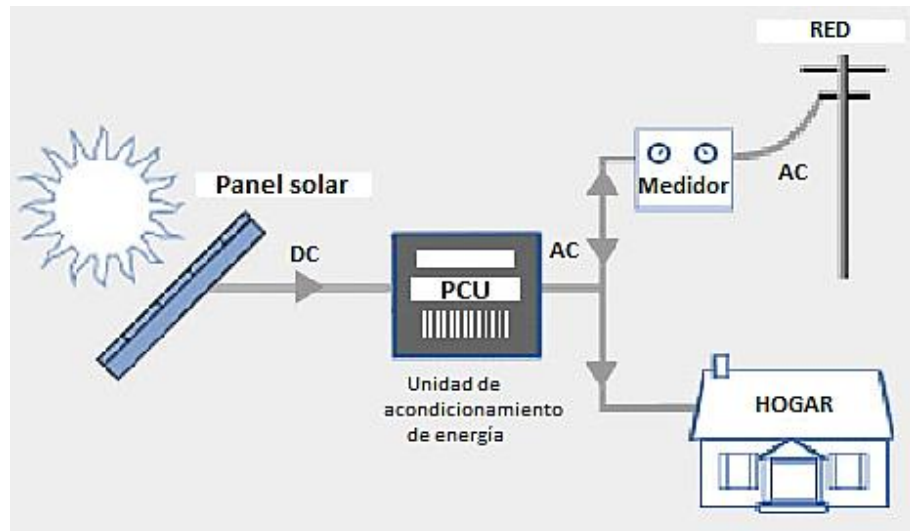


Figura 12 Sistema fotovoltaico simplificado con medidor

Fuente (Cuora, 2011)

En la figura 12 se muestra que se proporciona corriente continua a la unidad de acondicionamiento de energía (PCU). En ella incluye un rastreador de punto de máxima potencia (MPPT) para mantener los valores que operan en el punto de máxima eficiencia en la curva I-V, como también, un convertidor de corriente continua en corriente alterna. Si los valores de suministro de energía son inferiores a la demanda de la residencia, inmediatamente la PCU obtiene la energía suplementaria de la red eléctrica. Si los paneles fotovoltaicos suministran más energía que la necesaria, el exceso se conduce hacia la red, lo que podría hacer girar el medidor hacia atrás. (Willey & Masters, 2013)

Algunos de los componentes típicos ubicados en el domicilio para la conexión se muestran en la figura 13. El sistema consiste en la misma matriz base, pero detalla la caja de protección o caja combinada donde se encuentran diodos de bloqueo, fusibles individuales para cada cadena y un pararrayos. Para el calibre del cable, la caja de combinación ofrece una potencia DC a un conmutador de matriz de fusibles permitiendo que los valores sean completamente aislados del sistema. La PCU también cuenta con un interruptor de circuito de falla a tierra (GFCI) que apaga el sistema si las corrientes fluyen hacia tierra y circuitos para desconectar la instalación fotovoltaica de la red si se pierde la energía de la red. La PCU envía corriente

alterna por lo general a 240 V, pero a través de un interruptor en el panel de servicio se obtiene la tensión de 120V para que sea entregada al domicilio. (Willey & Masters, 2013)

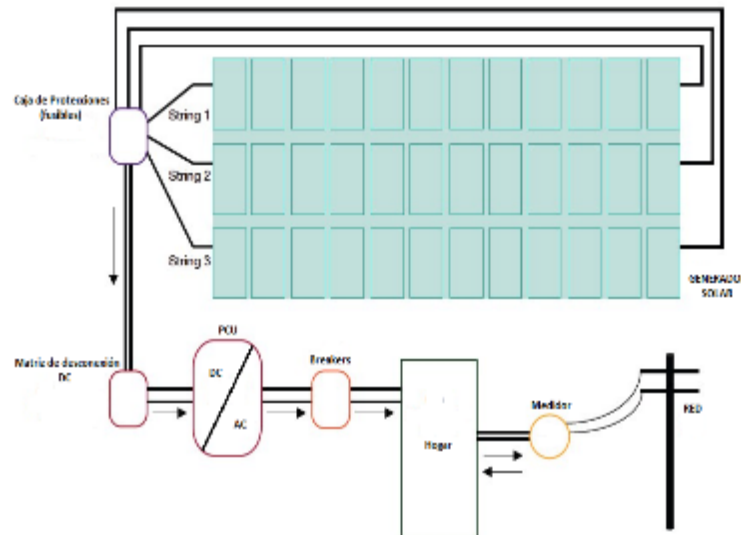


Figura 13 Componentes de un sistema de conexión a la red

Fuente (Desing, Sistem, 2014)

La PCU debe estar diseñada para caer de forma rápida y automática el sistema fotovoltaico en el caso de un corte de suministro eléctrico. Cuando haya un corte de luz, existen interruptores que deban aislar automáticamente una sección de las líneas de servicio público en los que se haya producido el fallo, creando lo que se conoce como “isla”. Pueden existir una serie de inconvenientes graves si durante un corte de luz un auto generador como el sistema fotovoltaico suministrara energía a esa isla. (Willey & Masters, 2013)

La mayoría de las fallas son de naturaleza transitoria, como la rama de un árbol con las líneas, por lo que los servicios públicos tienen procedimientos automáticos que están diseñados para limitar la cantidad de tiempo del apagón. Cuando existe un fallo los interruptores aíslan las líneas afectadas y luego se vuelven a cerrar automáticamente unos segundos más tarde. (Willey & Masters, 2013)

Si el problema no se soluciona, los trabajadores de la empresa son enviados al lugar para hacerse cargo del problema. Si un auto-generador está

aún en la línea durante un incidente así, aunque sea por menos de un segundo, puede interferir con el procedimiento de cierre automático que lleva a un corte más largo de lo necesario. Y si un trabajador intenta fijar una línea que supuestamente se ha desconectado de todas las fuentes de energía, pero no es así, a continuación, un peligro grave se ha creado. (Willey & Masters, 2013)

Cuando un sistema conectado a la red debe proporcionar energía a sus propietarios durante un corte de energía, un pequeño sistema de respaldo de batería puede ser incluido. Si los usuarios realmente necesitan alimentación ininterrumpida durante períodos más largos de tiempo, el sistema de la batería se puede aumentar con un generador. (Willey & Masters, 2013)

2.6.4. Funcionamiento.

Se basa en generar energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, que mediante el inversor transforma ésta energía a las condiciones de trabajo del sistema de la red como el voltaje, frecuencia, entre otros. (110-220 V o 50-60 Hz). Y se ubica un contador de energía para medir lo que se está entregando a la red, éste siempre será independientemente del medidor del domicilio. (Pablos, 2011).

2.6.5. Características de un sistema de conexión a red.

- No posee ningún elemento para el almacenamiento de energía, es decir, baterías.
 - Fácil mantenimiento.
 - Los costos de conservación son más baratos.
- Si un edificio o vivienda cuenta con este tipo de instalación, no se generará ningún tipo de cambio en el servicio eléctrico, manteniendo la eficiencia del mismo, y entender que por cada KW que genere el sistema fotovoltaico ayudará a disminuir la generación eléctrica que entrega la red, por lo tanto, reducirá costos. (Méndez & Cuervo, 2013)
- Ya sean sistemas de gran capacidad (huertas solares) o pequeña capacidad (techos de viviendas o edificios) en el orden de los KW, ambos

sistemas están compuestos de los mismos elementos y también se basan en el mismo funcionamiento. (Méndez & Cuervo, 2013)

- El gran impulso de los sistemas fotovoltaicos de pequeña capacidad, mediante el apoyo de los gobiernos a nivel mundial, se ha desarrollado para ayudar a contribuir con el medio ambiente. Motivando a la población a utilizar un medio de generación limpia y en ciertos casos rentables para ciertos inversionistas. (Méndez & Cuervo, 2013)
- En el caso de los grandes sistemas de generación fotovoltaica, su instalación depende del espacio que se disponga, lo que permitirá realizar un estudio de inversión. (Méndez & Cuervo, 2013)
- Este tipo de instalaciones han de ser proyectadas conforme a la normativa medioambiental debido a su impacto en el entorno. Además, se deberá tener en cuenta la capacidad de las líneas de distribución, y en su caso de los centros de transformación, a los que se puede verter la energía generada. (Méndez & Cuervo, 2013)

2.6.6. Instalaciones de baja y media tensión

Se habla de potencias menores a 100 KW, se explican ciertos casos como:

- Zonas habitadas: La compañía eléctrica concede un punto de conexión en baja tensión. (Moro, 2010)
- Edificios: El punto de conexión es la propia acometida del inmueble (se debe emplear menos del 50% de la capacidad del cable existente) (Moro, 2010)
- Otras ocasiones: El punto de conexión en el centro de transformación más cercano, la empresa eléctrica se encarga del cableado desde el centro de transformación hasta el sistema de generación fotovoltaico, ya sea aéreo o subterráneo. (Moro, 2010)
- Zona menos electrificada-instalación más grande: La empresa concede un punto de media tensión, ya sea una línea de media tensión o conectada a una subestación (poco habitual). El sistema de generación fotovoltaico debe contar con un transformador de baja a media tensión autorizado por la empresa eléctrica vigente. (Moro, 2010)

2.7. Elementos de instalaciones fotovoltaicas de conexión a red.

En este tipo de conexión no existe elementos de acumulación de energía, toda la energía es cedida al sistema de la red con las especificaciones de la frecuencia para que no existan perturbaciones en el mismo. Este tipo de sistemas están comprendidas en varias fases: (Moro, 2010)

- Primera fase: El generador fotovoltaico produce la energía en forma de corriente continua. (Moro, 2010)
- Segunda fase: Esta corriente se conduce hasta el inversor (cableado adecuado) (Moro, 2010)
- Tercera fase: Desde el inversor se conduce corriente alterna hasta el contador de energía. (Moro, 2010)

2.7.1. Generador fotovoltaico.

A. Introducción.

Los módulos fotovoltaicos se conectan eléctricamente en serie y/o en paralelo, lo que da lugar a lo que se denomina como generador fotovoltaico. El grupo de módulos conectados en serie se llama cadena o string. La tensión de cada uno de los string es igual a la suma de las tensiones de los módulos y corresponde a la tensión de entrada en el inversor. En el caso de conectarse en paralelo la suma total va ser igual al voltaje del módulo, por lo tanto, en ambos casos siempre se deben usar módulos que tengan la misma característica técnica. (Moro, 2010)

B. Conversión eléctrica.

La luz solar que incide sobre el semiconductor (generalmente silicio), hace que sus fotones suministren la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el material. Por cada electrón que se libera, aparece un hueco. Dichos huecos se comportan como partículas con carga positiva (+). (Guerrero, 2011)

Cuando la radiación luminosa en forma de fotones es absorbida por los semiconductores, se generan pares de portadores de carga eléctrica:

electrones y huecos, los cuales deben ser separados para usar la energía que cada uno representa. (Guerrero, 2011)

La acumulación de las cargas superficiales del dispositivo da como resultado un voltaje eléctrico que se puede medir externamente. Si se establece un circuito eléctrico externo entre las dos superficies, los electrones acumulados fluirán a través de él, regresando a su posición inicial. Este flujo de electrones forma lo que se denomina como corriente generada o fotovoltaica (FV). (Guerrero, 2011)

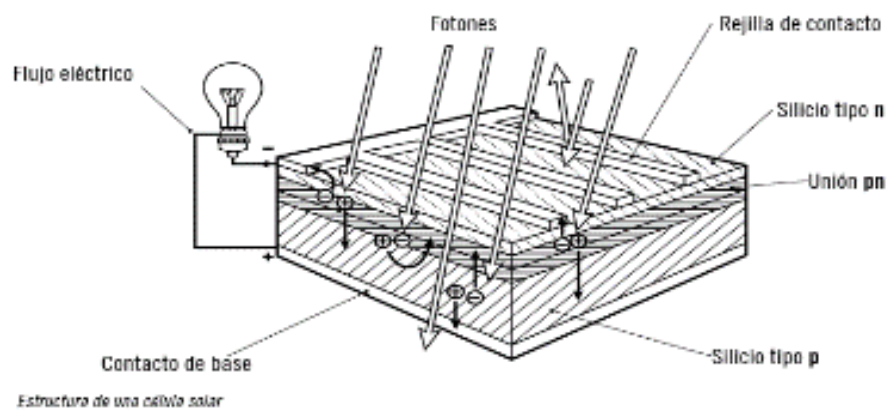


Figura 14 Conversión eléctrica

Fuente: (Guerrero, 2011)

C. Electricidad fotovoltaica

a. El efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es el fenómeno físico que consiste en la conversión de energía luminosa en energía eléctrica. Para que se produzca dicho efecto, debe existir: (Guerrero, 2011)

- Una estructura capaz de introducir un campo eléctrico en la unión PN.
- Que la radiación solar sea capaz de romper los enlaces entre átomos para liberar electrones. (Guerrero, 2011)

Este efecto se produce cuando la radiación solar incide sobre la unión PN del material semiconductor, se rompen los enlaces y el campo eléctrico orienta

las cargas del electrón y el hueco, estableciéndose una diferencia de potencial a partir de la cual circula la corriente por la carga. (Guerrero, 2011)

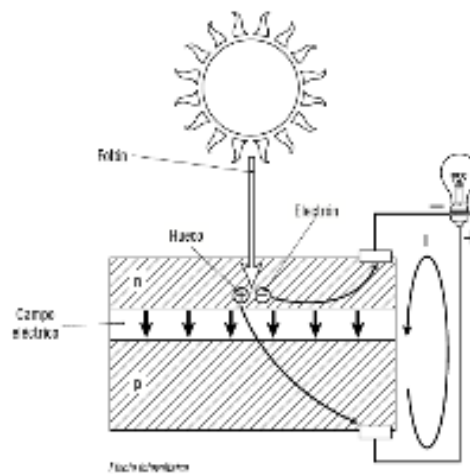


Figura 15 Efecto fotovoltaico

Fuente: (Guerrero, 2011)

b. De celdas a un módulo

Dentro de un módulo fotovoltaico las celdas pueden conectarse en serie, donde todas las celdas llevarían la misma corriente, y en cualquier corriente dada, su voltaje se suma. Para encontrar la tensión del módulo general $V_{módulo}$ multiplicando la ecuación 2 por el número de celdas n dentro del módulo. (Willey & Masters, 2013)

$$V_{módulo} = (V_d + IR_s) \quad \text{Ec. (2)}$$

$$V_{módulo} = n(V_d + IR_s) \quad \text{Ec. (3)}$$

Dónde:

$V_{módulo}$ = Voltaje del módulo fotovoltaico (V)

n = Número total de celdas de la matriz

V_d = Voltaje de terminales del diodo (V)

I = Corriente entregada a la carga (A)

R_s = Resistencia en serie (ohm)

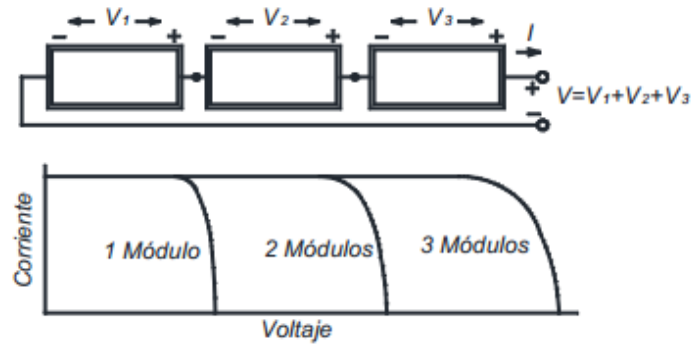


Figura 16 Módulos en serie

Fuente: (Willey & Masters, 2013)

Los módulos pueden ser conectados en serie para aumentar la tensión, y en paralelo para aumentar la corriente. La matriz de celdas puede ser formada por la combinación de módulos serie y paralelo, para aumentar la potencia. (Willey & Masters, 2013)

Para módulos en serie, en la curva I-V simplemente se añaden a lo largo del eje de tensión. Es decir, en cualquier corriente dada (que fluye a través de cada uno de los módulos), el voltaje total de la cadena es sólo la suma de los módulos individuales como muestra la Figura 16. (Willey & Masters, 2013)

Para los módulos en paralelo, la misma tensión atraviesa cada módulo y la corriente total es la suma de cada una de ellas. Es decir, en cualquier voltaje dado, la curva I-V es la suma de las corrientes de módulos individuales en ese voltaje. La Figura 17 muestra la curva I-V de tres módulos en paralelo. (Willey & Masters, 2013)

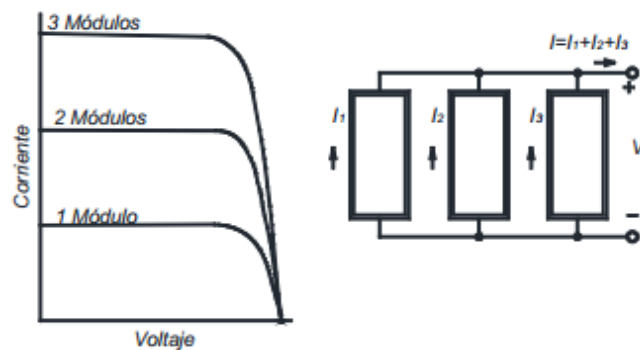


Figura 17 Para módulos en paralelo

Fuente: (Willey & Masters, 2013)

c. Curva I-V en condiciones de prueba estándar

Se habla de módulo fotovoltaico cuando se desea conectar una carga (Figura 18). por ejemplo, un motor de cc que acciona una bomba, una batería o estar conectado a la red. Antes de conectar la carga, el módulo al recibir luz solar genera un voltaje de circuito abierto V_{oc} , pero no circulara corriente. Si los terminales del módulo están en cortocircuito (lo cual no hace daño al módulo, de ninguna forma), la corriente de cortocircuito I_{sc} fluirá pero la tensión de salida será cero. En ambos casos, ya que la energía es el producto de la corriente y la tensión, ninguna energía es entregada por el módulo y ninguna energía es recibida por la carga. Cuando la carga se conecta genera la corriente y voltaje que da como resultado la potencia que se entrega. Para calcular la cantidad de energía, se debe tener en cuenta la curva característica I-V del módulo, así como la curva característica I-V de la carga. (Willey & Masters, 2013)

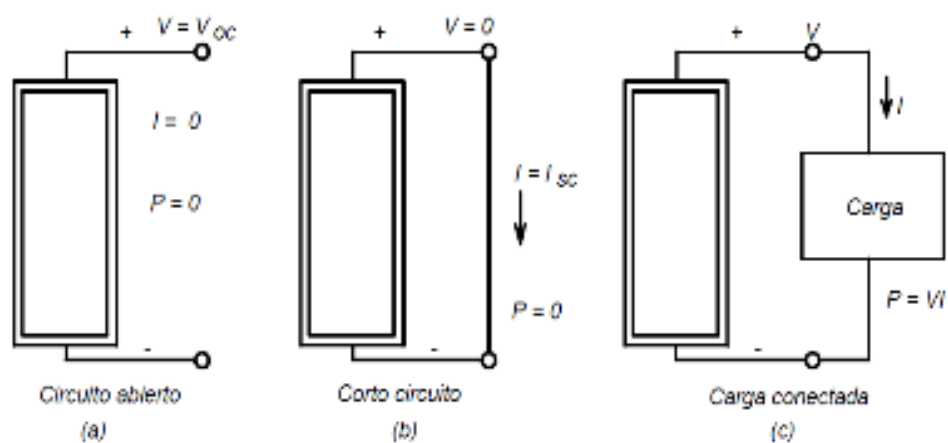


Figura 18 (a) circuito abierto, (b) en corto, (c) con carga

Fuente: (Willey & Masters, 2013)

La Figura 19 muestra la curva I-V genérica para un panel fotovoltaico, su tensión de circuito abierto V_{oc} y la corriente de cortocircuito I_{sc} . También se muestra el producto de voltaje y la corriente, es decir, la potencia suministrada por el módulo. En los dos extremos de la curva I-V, la potencia de salida es cero, ya sea de corriente o de voltaje es cero en esos puntos. El MPP (Máximo Punto de Potencia) es ese lugar cerca de la rodilla de la curva I-V en la que el

producto de voltaje y corriente alcanza su máximo. La potencia, voltaje y corriente en el punto de MPP son generalmente designados como P_{mpp} (Potencia en el máximo punto de potencia), V_{mpp} (Voltaje en el máximo Punto de Potencia), y I_{mpp} (Intensidad de corriente en el Máximo Punto de potencia), respectivamente. (Willey & Masters, 2013)

Otra manera de visualizar la ubicación del MPP es tratando de encontrar el mayor rectángulo posible que se ajuste debajo de la curva I-V. como se muestra en la Figura 20, los lados del rectángulo corresponden a corriente y voltaje, por lo que su área es potencia. Otra cantidad que se utiliza a menudo para caracterizar el rendimiento del módulo es el factor de llenado (FF). (Willey & Masters, 2013)

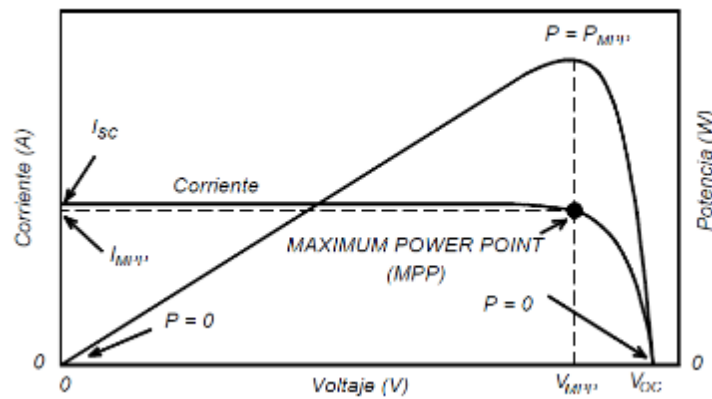


Figura 19 Curva I-V y potencia para un módulo fotovoltaico

Fuente: (Willey & Masters, 2013)

El factor de llenado es la relación de la potencia en el MPP al producto V_{OC} y I_{SC} , así FF se puede visualizar como el cociente de dos áreas rectangulares, como se muestra en la Figura 20. Las mejores celdas comerciales tienen un FF mayor del 70%, lo que, en nuestro análisis del circuito equivalente de las celdas, indica que tienen razonablemente altas resistencias en paralelo y baja resistencia en serie. (Willey & Masters, 2013)

$$FF = \frac{V_{MPP} * I_{MPP}}{V_{OC} * I_{SC}} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

V_{MPP} : Voltaje en el máximo punto de potencia (V)

I_{MPP} : Corriente en el máximo punto de potencia (A)

V_{OC} : Voltaje de circuito abierto (V)

I_{SC} : Corriente de corto circuito

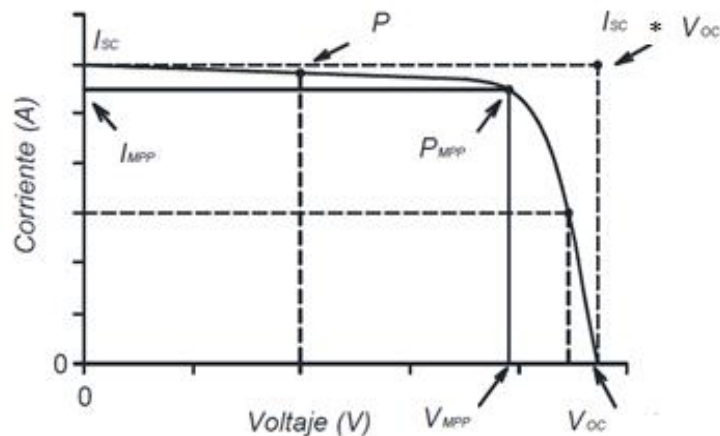


Figura 20 Punto de máxima potencia (MPP) con el mayor rectángulo

Fuente: (Willey & Masters, 2013)

d. Impactos de temperatura y aislamiento en Curvas I-V

Cuando las celdas se calientan, el voltaje de circuito abierto disminuye en una cantidad considerable, mientras que la corriente de cortocircuito aumenta muy ligeramente. Las celdas, quizás, tendrán un mejor desempeño en los días fríos y claros que en los calientes. (Willey & Masters, 2013)

Las celdas varían en la temperatura no solo porque las temperaturas ambientales cambian, sino porque la radiación sobre las celdas cambia. Dado que solo una pequeña fracción de la radiación que recibe un módulo se convierte en electricidad, la mayor parte de esa energía incidente es absorbida y convertida en calor. Para ayudar a los diseñadores a representar los cambios en el rendimiento de células con la temperatura, es una práctica estándar para los fabricantes proporcionar un indicador llamado la Temperatura Nominal de Operación de la Celda (NOCT). El NOCT es la temperatura de la celda esperada en un módulo cuando el ambiente es de

20°C, radiación solar de 0.8 kW/m^2 , y la velocidad del viento 1 m/s . Para tener en cuenta otras condiciones ambientales, la siguiente expresión se puede utilizar: (Willey & Masters, 2013)

$$T_{cell} = T_{amb} + \left(\frac{NOTC - 20^\circ\text{C}}{0.8} \right) * G \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

T_{cell} : Temperatura de la celda ($^\circ\text{C}$)

T_{amb} : Temperatura del ambiente ($^\circ\text{C}$)

G : Radiación solar (kW/m^2)

$NOTC$: Temperatura Nominal de Operación de la celda ($^\circ\text{C}$)

Cuando no se ofrece NOTC, otro enfoque para estimar la temperatura celular es basado en lo siguiente:

$$T_{cell} = T_{amb} + \gamma \left(\frac{G}{1\text{kW/m}^2} \right) \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde γ es un factor proporcional que depende un poco de la velocidad del viento y lo bien ventilados que estén los módulos cuando se instalan. Los valores típicos están entre 25°C y 35°C ; es decir, que las celdas tienden a ser 25°C - 35°C más calientes que su entorno. (Willey & Masters, 2013)

D. Tipos de Células.

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

Tabla 2

Tipos de células

	Silicio Monocristalino	Silicio Policristalino	Silicio Amorfo
Rendimiento laboratorio	24%	19-20%	16%
Rendimiento directo	15-18%	12-14%	<10%

CONTINÚA 

Fabricación	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.	Igual al monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alto rendimiento estable • Tecnología confiable • Elevado número de fabricantes • Alta disponibilidad en el mercado 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo menor • Fabricación más sencilla • Alta disponibilidad en el mercado 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo menor • Menor necesidad de material y energía en fabricación • Mayor resistencia a la temperatura • Buen rendimiento con baja radiación • Módulos flexibles
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado debido a la cantidad de material necesaria para la fabricación. • Su fabricación es compleja 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo rendimiento en condiciones de iluminación baja 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo rendimiento • Para su funcionamiento se necesita una superficie más grande • Deterioro inicial • Baja disponibilidad en el mercado

Fuente: (Energías Renovables, 2014)

E. El panel solar

Características físicas constructivas y eléctricas

a. Características eléctricas

Éstas vienen dadas por la hoja de características del dispositivo (fabricante)

Potencia máxima o potencia pico del módulo (P_{max})

Si se conecta una determinada carga al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente I y la tensión V existentes en el circuito. Estos valores tendrán que ser inferiores que I_{sc} y V_{oc} (se determinarán más adelante) respectivamente. (Guerrero, 2011)

La potencia P que el panel entrega a la carga está determinada por la siguiente ecuación:

$$P = V \cdot I \quad \text{Ec. (7)}$$

Su valor más alto se denomina potencia máxima de pico a módulo. Los valores de la corriente y tensión correspondientes a este punto se conocen respectivamente como: (Guerrero, 2011)

- **IP_{max}** : intensidad cuando la potencia máxima o corriente en el punto de máxima potencia.
- **VP_{max}** : la tensión cuando la potencia también es máxima o tensión en el punto de máxima potencia.

Corriente de cortocircuito (I_{sc})

Al cortocircuitar los terminales del panel ($V = 0$) y recibir la radiación solar, la intensidad que circula por el panel es máxima y el valor se denomina **I_{sc}** .

Tensión de circuito abierto (V_{oc})

Se obtiene al dejar los terminales del panel en circuito abierto ($I = 0$). Entre ellos, aparece, al recibir la radiación, una tensión que será máxima.

Estos parámetros se obtienen en condiciones estándar de medida, están establecidas como condiciones que el fabricante debe especificarlas:

- Irradiancia: 1000 W/m^2 (1 KW/m^2)
- Distribución espectral de radiación incidente: $AM1.5$ (masa de aire)
- Incidencia normal
- Temperatura de la célula: 25°C

Otro parámetro que se debe ser suministrado por el fabricante es la Temperatura de Operación Nominal de la Célula (NOTC). Dicho parámetro se refiere a la temperatura que alcanzan las células solares cuando el módulo está sometido a las siguientes condiciones de operación. (Guerrero, 2011)

- Irradiancia: 800 W/m^2
- Distribución espectral de la radiación incidente: *AM1.5* (masa de aire)
- Incidencia normal
- Temperatura de la célula: 20°C
- Velocidad del viento: 1m/s

b. Comportamiento

Existen varios factores que afectan el funcionamiento de los módulos fotovoltaicos:

- La intensidad aumenta con la radiación: Se debe tener siempre presente que los valores van a variar alrededor del día en función de la radiación solar; por lo que es importante analizar la correcta ubicación de los paneles para conseguir la máxima utilización de la energía primaria a lo largo de todo el año. (Guerrero, 2011)
- La exposición al sol de las células provoca su calentamiento: generando variaciones en la producción de electricidad, dando un ejemplo si se obtiene una radiación de 1000 W/m^2 se puede llegar a calentar a una temperatura de 30°C que está por encima de la temperatura del aire circundante, entonces se puede decir que a medida que aumenta la temperatura el voltaje disminuye. Esto condiciona el diseño de estos sistemas, por lo que se debe disponer de sistemas que estén adecuados para la disipación del aire. (Guerrero, 2011)
- El número de células por módulo afecta principalmente al voltaje, puesto que cada una de ellas produce aproximadamente $0.4 \text{ V} - 0.7 \text{ V}$ la tensión de salida del módulo aumenta en esa proporción. (Guerrero, 2011)

c. Elementos

Además de las células, los paneles solares están constituidos por algunos elementos adicionales, que son los siguientes:

- **Cubierta exterior de cara al sol:** es de vidrio, el cual facilita la transmisión de radiación solar al panel, sus principales características son: resistencia mecánica, alta transmisibilidad y bajo contenido en hierro. (Guerrero, 2011)
- **Encapsulante:** puede ser de silicona o comúnmente suelen ser de EVA (etilenvinil-acetato). No se debe ver afectado su transparencia por la continua radiación, buscando así una refracción similar a la del vidrio para que no haya alteraciones en las condiciones de la radiación. (Guerrero, 2011)
- **Protección posterior:** esta parte debe dar rigidez y una gran protección frente a inclemencias atmosféricas. En su fabricación, se suelen emplearse láminas formadas por distintas capas de materiales, de diferentes características. (Guerrero, 2011)
- **Marco metálico:** es de aluminio y asegura una suficiente rigidez al conjunto, incorporando elementos de sujeción a la estructura exterior del panel. (Guerrero, 2011)
- **Cableado y bornes de conexión:** son habituales en las instalaciones eléctricas, son protegidos y aislados de la intemperie por cajas. (Guerrero, 2011)
- **Diodo de protección:** su misión es proteger contra sobrecargas y demás alteraciones respecto a las condiciones de funcionamiento del panel. (Guerrero, 2011)

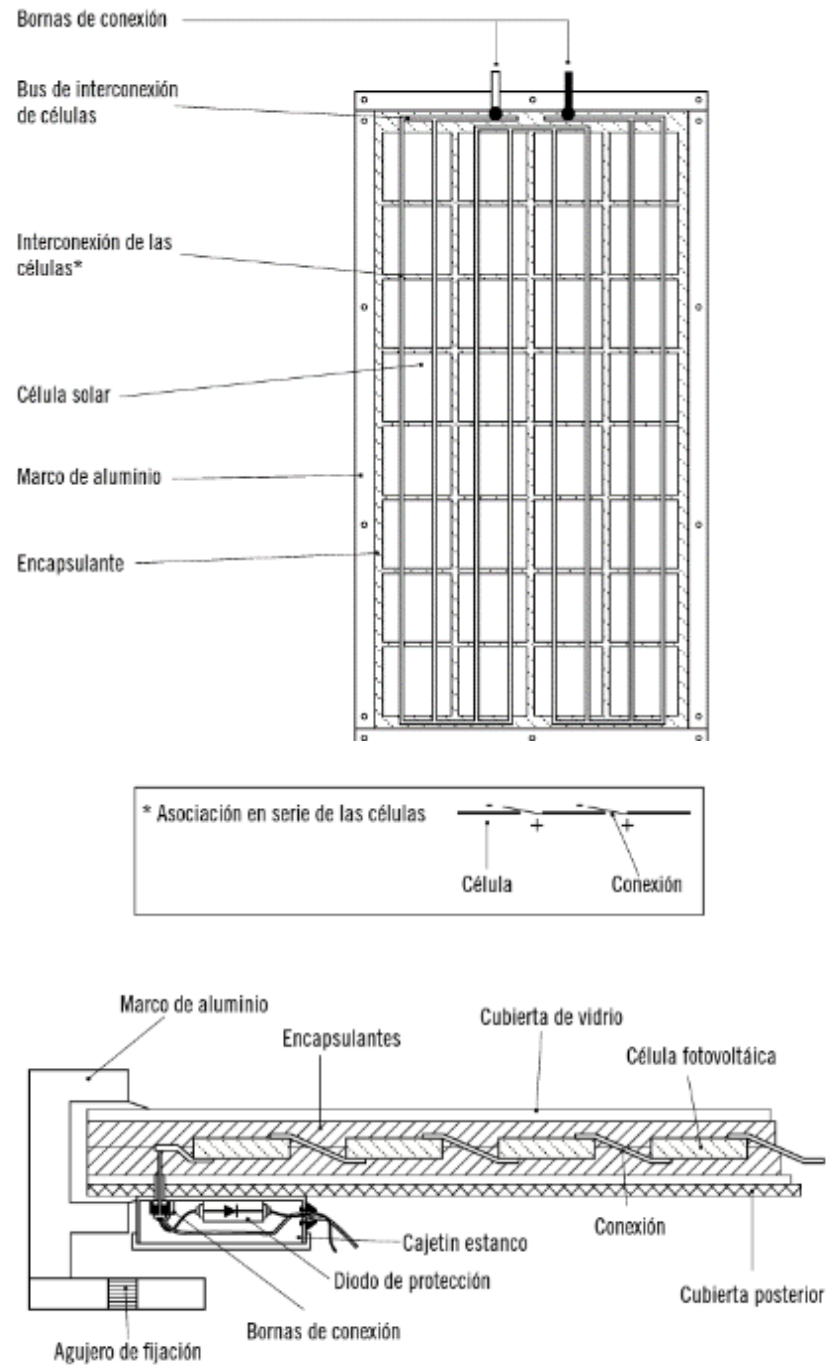


Figura 21 Componentes del panel solar

Fuente: (Guerrero, 2011)

2.7.2. Inversores.

A. Introducción

Los inversores de instalaciones conectadas a red cumplen la misión de convertir la energía eléctrica (corriente continua) en energía eléctrica (corriente alterna) (Moro, 2010)

El inversor es el enlace que existe entre la instalación solar (corriente continua), la red eléctrica y sus cargas (corriente alterna). En las instalaciones conectadas a red, el inversor es un elemento de extrema importancia. No solo realiza la conversión de la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos, sino que también debe sincronizar la onda generada con la corriente eléctrica de la red pública. (Moro, 2010)

Además, debe cumplir con otra función muy relevante: garantizar que los paneles fotovoltaicos trabajen lo más cerca del punto de máxima potencia como sea posible. (Moro, 2010)

El fabricante proporciona una hoja de características la que proporciona: voltaje, corriente, frecuencia, rendimiento, entre otros. (Moro, 2010)

Se debe distinguir entre potencia pico y potencia nominal en una instalación fotovoltaica por lo que:

Potencia pico: es la suma de las potencias de todos los módulos fotovoltaicos de la instalación. (Moro, 2010)

La potencia nominal: es la potencia de salida del inversor. Es menor que la potencia pico, ya que, en la práctica, los paneles nunca (o casi nunca) proporcionan la potencia pico y, además, es inevitable que la instalación tenga una serie de pérdidas. La potencia pico suele ser entre un 10 y un 20% superior a la nominal. (Moro, 2010).

B. Punto de máxima potencia

Con el fin de suministrar el máximo de potencia inyectada a la red de distribución, el inversor debe hacer que el generador fotovoltaico trabaje en el punto de máxima potencia. El punto de máxima potencia está variando constantemente a lo largo del día y de los días dependiendo de las condiciones climatológicas. El inversor consigue que el generador funcione en el punto de máxima potencia porque lleva incorporado un seguidor de máxima

potencia o MPPT. Este dispositivo consiste básicamente en un convertidor DC-DC que se conecta delante del propio inversor y ajusta la tensión de entrada del inversor a la tensión del punto de máxima potencia del generador. (Berta Gutiérrez Montes, 2009)

La potencia DC que el inversor puede obtener de un generador fotovoltaico depende del punto de trabajo en la curva I-V. La potencia máxima depende de las condiciones ambientales, irradiancia y temperatura. El inversor debería operar idealmente en todo momento en el punto de máxima potencia del generador fotovoltaico. Debido a que es necesario un algoritmo de búsqueda del punto de máxima potencia, se puede definir un rendimiento de seguimiento del punto de máxima potencia (η_{SPMP}), como el cociente entre la energía DC obtenida realmente y la energía DC que se obtendría en un seguimiento ideal. (Berta Gutiérrez Montes, 2009)

C. Configuración de inversores en instalaciones conectadas a red

Suelen existir conexiones con un único inversor en las instalaciones fotovoltaicas, pero en la actualidad, es habitual el uso de inversores conectados en paralelo. Por lo que se distinguen hasta tres configuraciones para conexión a red en función de la interconexión del inversor o inversores del generador fotovoltaico. (Berta Gutiérrez Montes, 2009)

D. Configuración de inversor centralizado

a. Ramales cortos

Cuando se conectan en serie en un ramal (de 3 a 5 módulos), la tensión de salida del generador está dentro del rango de bajas tensiones. Por otro lado, las sombras afectan menos a la instalación y es necesario utilizar cables relativamente grandes (debido a las corrientes mayores que circulan por los ramales cortos). Desde el punto de vista de la seguridad, existe un menor riesgo eléctrico, debido a las tensiones no elevadas. (Guerrero, 2011)

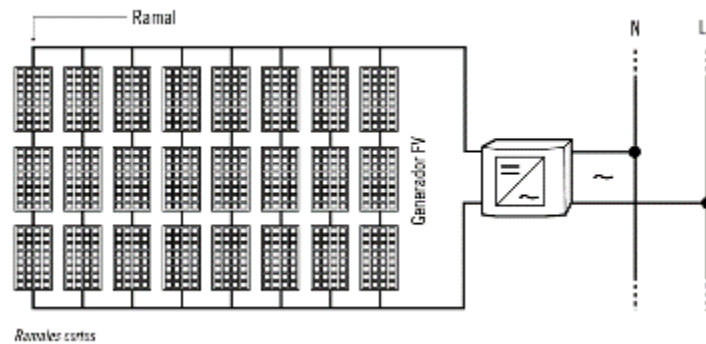


Figura 22 Ramales cortos

Fuente: (Guerrero, 2011)

b. Ramales largos

En caso de tener muchos módulos en serie por ramal, se tendrán tensiones más elevadas y el material a emplear deberá tener mayores condiciones de seguridad. Las pérdidas por sombra serán mayores y la sección de los cables deberá ser menor a las especificaciones en el caso anterior. (Guerrero, 2011)

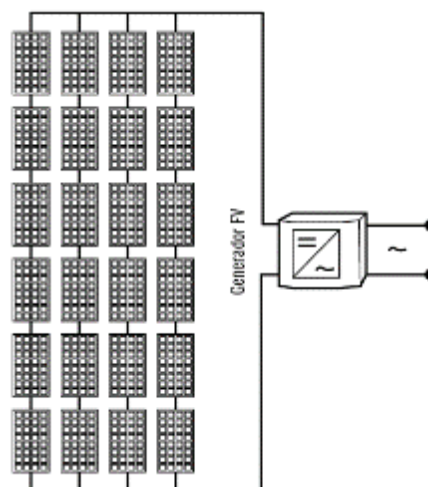


Figura 23 Ramales largos

Fuente: (Guerrero, 2011)

c. Configuración maestro – esclavo

En esta configuración se utiliza varios inversores (2 ó 3) donde uno de ellos hace de maestro y trabaja cuando existe bajos niveles de radiación. Cuando existen valores mayores de radiación que superen el límite de potencia del

inversor maestro, arranca automáticamente el siguiente inversor (esclavo). Para hacer que todos los inversores funcionen al mismo tiempo, es necesario intercambiar la función de maestro y esclavo cada cierto tiempo. (Guerrero, 2011)

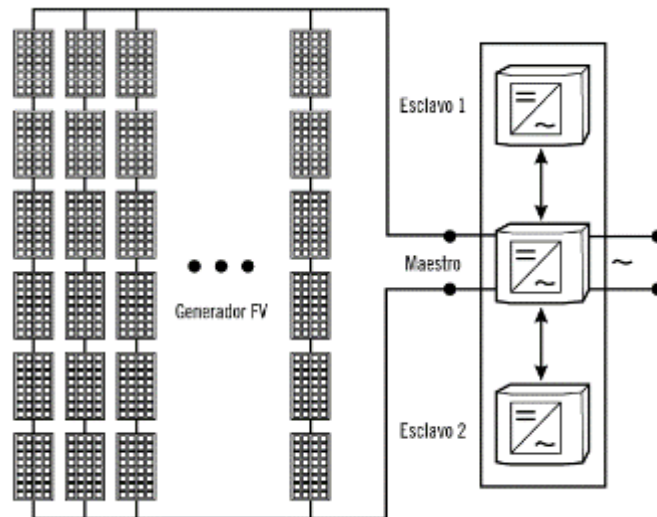


Figura 24 Configuración maestro esclavo

Fuente: (Guerrero, 2011)

Esta configuración presenta la ventaja, para los niveles bajos de potencia, sólo se utilizará un inversor (el rendimiento en el rango de pequeñas potencias es mayor que en el caso de utilizar un solo inversor centralizado, de mayor potencia). Sin embargo, los costos de inversión son superiores comparado con el caso de utilizar un solo inversor. (Guerrero, 2011)

d. Configuración inversor por ramal.

En una instalación en la que existe partes con diferentes inclinaciones y/o orientaciones, se pueden disminuir considerablemente las pérdidas por sombras si cada una de estas partes se conecta directamente a un inversor específico, ya que se conseguirá que los módulos conectados a un inversor reciban en todo momento el mismo nivel de radiación. (Guerrero, 2011)

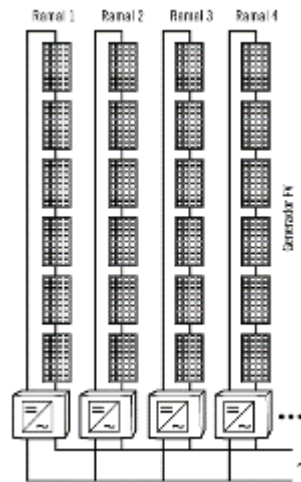


Figura 25 Configuración inversor por ramal.

Fuente: (Guerrero, 2011)

f. Configuración de inversor en módulo (microinversor).

Esta configuración consiste en instalar un inversor independiente a cada uno de los módulos fotovoltaicos que constituyen la instalación. El inconveniente fundamental de esta configuración es el costo total y menor rendimiento. Sin embargo, esta diferencia en el rendimiento se compensa con un mejor ajuste en el punto de máxima potencia de los módulos. (Guerrero, 2011)



Figura 26 Microinversor

Fuente: (SMA, 2015)

E. Microinversores

Consiste en un inversor de pequeño tamaño que cumple con la función de convertir la corriente continua que se genera por los paneles en corriente alterna con las características adecuadas para la red a suministrar. Estos disponen de una mayor tecnología y presentan ciertas ventajas respecto a los convencionales. Se pueden conectar únicamente a un panel, pero existen microinversores que pueden estar conectados a dos módulos al mismo tiempo. (Autosolar, 2013)

a. Ventajas del Microinversor Solar

El microinversor en autoconsumo solar posee ventajas como: hacer trabajar a los módulos en su punto de máxima potencia, así se logra evitar el efecto denominado “mismatch” consiguiendo que cada módulo funcione a su máxima potencia de forma independiente. Además, se minimiza el efecto sombra, no existe gran efecto en el rendimiento del mismo. (Autosolar, 2013)

b. Características de los microinversores.

- Mayor vida útil.
- Monitoreo en tiempo real.
- Monitoreo remota (teléfono-tableta)
- Instalación sencilla. (SMA, 2015)

F. Requerimientos de los inversores conectados a la red

Las características eléctricas que poseen los inversores conectados a red, son:

- Tensión de salida.
- Factor de potencia.
- Frecuencia.
- Eficiencia.
- Baja distorsión armónica.
- Seguimiento del punto de máxima potencia.
- Bajo consumo.
- Protección contra sobretensiones.

- Aislamiento.
- Conexión/Desconexión automática.
- Sistema de medidas y monitoreo. (Guerrero, 2011)

2.7.3. Contadores de energía, telecontrol y monitoreo de datos.

A. Contadores de energía.

Es por todos conocida la definición de potencia como la energía consumida o producida por unidad de tiempo.

$$Potencia = \frac{Energía}{Tiempo} = \frac{W}{t} \quad Ec. (8)$$

Para el caso, interesa medir el consumo de energía, por lo que la expresión anterior quedará:

$$W = P \cdot t \quad Ec. (9)$$

Donde:

W: Energía (Wh)

P: Potencia (W)

t: Tiempo (h)

Es decir, bastará conocer la potencia consumida en una instalación en cada instante y durante cuánto tiempo la consume. Puesto que la potencia activa se mide en vatios y el tiempo en horas, se tiene $W * h$ como unidad de consumo de energía eléctrica. (Jorge Encina, 2011)

a. Características anti-fraude mejoradas

Los contadores inteligentes poseen un registrador de eventos con características anti-fraude y de seguridad, lo que da un aviso a la empresa distribuidora, descubriendo a los manipuladores de intentos físicos para acceder al contador. También son inmunes a la influencia magnética externa. (Kamstrup, 2015)

b. Detección automática de fallo en neutro

Las nuevas generaciones de contadores inteligentes pueden configurarse con una función de detección de fallo en neutro que permite la desconexión automática del suministro para evitar sobretensiones o cortocircuitos en el hogar. Al mismo tiempo, una alarma puede ser enviada a la empresa distribuidora identificando la subestación y la línea de distribución en la que se ha producido el fallo. (Kamstrup, 2015)

c. Control de carga

Es la manera correcta de gestionar y controlar la carga en la red con el propósito de equilibrar la producción y la demanda, son un apoyo para las empresas distribuidoras, ya que, permiten la configuración remota, con el fin de desconectar parte del consumo en las horas de mayor demanda. (Kamstrup, 2015)

d. Interoperabilidad

Flexibilidad e integración sencilla son factores claves para explotar todo el potencial de las tecnologías de comunicación. Esto asegura una interfaz estandarizada entre el contador y cualquier sistema de comunicación que apoye esta especificación común. (Kamstrup, 2015)

e. Preparados para el Smart Home

Al estar preparado para la interacción con los consumidores, los contadores inteligentes abren la puerta al hogar inteligente o Smart Home. Un espacio modular de comunicación independiente de la zona legal del contador permite a la empresa distribuidora o al consumidor agregar una tarjeta de comunicación por ejemplo: transmitir los datos de consumo de forma inalámbrica a una pantalla dentro de la vivienda. (Kamstrup, 2015)

B. Sistema de telecontrol y monitoreo de datos

a. Sistemas de telecontrol

Son herramientas eficaces que mejoran los sistemas de control fotovoltaicos, permitiendo automatizar instalaciones, transmitir alarmas,

consultar a distancias valores y evoluciones de las variables de la instalación. Lo que demuestra que es fácil de entender como de practicarlo, haciendo más placentera y cómoda el estilo de vida. (Mejoras Energéticas, 2013)

Ventajas del telecontrol

Si se habla de las ventajas que proporciona estos sistemas, se puede afirmar que otorgan una mayor rentabilidad de los recursos, mejoran la gestión técnica como económica, dan una mejor calidad del servicio que prestan como mejorar las condiciones de trabajo de los usuarios. (Mejoras Energéticas, 2013)

Componentes de un sistema de telecontrol

- Captadores e instrumentación de campo:
Captan las variables de la instalación (voltaje, corriente, frecuencia, potencia).
- Estaciones remotas:
 - Reciben, almacenan y transmiten al puesto de control la información recogida por los captadores.
 - Realizan automatismos locales y entre remotas.
 - Generan y transmiten alarmas. (Mejoras Energéticas, 2013)
- Puesto de control:
 - Reciben, procesan, almacenan y visualizan los datos en forma de curvas, informes y sinópticos de diferentes estaciones.
 - Envían órdenes y consignas a las remotas.
 - Transmiten alarmas por síntesis vocal, mensajes cortos, e-mail, entre otros. (Mejoras Energéticas, 2013)

b. Monitoreo de datos

Un sistema de monitoreo debe ser un sistema que permita conocer el estado de la instalación y permitir informes de manera rápida y eficaz de las anomalías que se produzcan en la misma. Se presentan los siguientes niveles: (Mejoras Energéticas, 2013)

Nivel usuario.

- El estado o comportamiento del sistema.
- Ser informado rápidamente de las anomalías y/o averías.
- Conocer la energía producida
- Conocer si el sistema funciona de acuerdo con el diseño.

Nivel ingeniería:

- Tener datos numéricos sobre el funcionamiento:
- Análisis posteriores, modelos, simulaciones.
- Mejorar la ingeniería de las nuevas plantas



Nivel social y político.

- Elemento de difusión social de la energía fotovoltaica

2.7.4. Redes y protocolos de comunicación.

Tabla 3

Redes y Protocolos de Comunicación

Redes	Protocolos
	
<p>Se refiere al conjunto de dispositivos electrónicos enlazados por medio de cables, fibra óptica o señales de radio que intercambian información a base de normas y reglas.</p>	<p>Es el conjunto de reglas que mandan sobre el intercambio de datos entre los dispositivos.</p> <p>El protocolo más utilizado es el: TCP (protocolo de control de la transmisión) /IP (protocolo de internet)</p> <p>También se puede denominar protocolo a aquel que está insertado dentro de los dispositivos electrónicos y que interactúa en el control de los procesos para permitir la comunicación de los mismos.</p>

Fuente: (UPV, 2006)

Entre las redes de comunicación se encuentra:

- Buses de campo.
- Redes de área local (LAN)
- Redes de área rápida (WAN)

A. Redes de área local (LAN)

Entre este tipo de protocolo de comunicación, las más comunes son Ethernet y Fast Ethernet.

Tabla 4

Redes de área local (LAN)

Redes de área local (LAN)	
Ethernet	Fast Ethernet
Ambas redes mantienen un funcionamiento similar y su diferencia está en las velocidades	
10Mbps	100Mbps

B. Ethernet

Es la tecnología de red de área local más extendida en la actualidad, dándole un uso tan popular ya que permite un buen equilibrio entre velocidad, costo y facilidad de instalación. Se dice que es pasivo, ya que, no requiere de una fuente de alimentación, por lo tanto, no falla. (Hispanista, 2014)

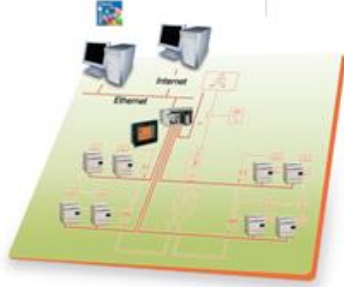


Figura 27 Ethernet

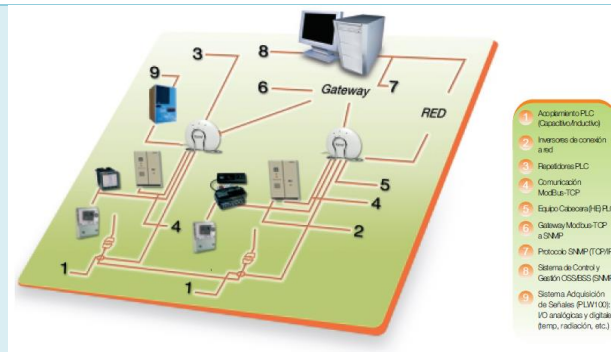
Fuente: (Master, 2016)

Tabla 5

Aplicaciones ethernet

APLICACIONES	
<p>Sistema de captación, distribución y supervisión de energía para un dirigible autosustentado</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>El sistema de energía de la nave involucra gran cantidad de información en cuanto a las variables eléctricas y temperatura, entonces se ve la obligación del monitoreo de voltaje y corriente de los paneles solares, cargas eléctricas, bancos de baterías, así como la temperatura en las mismas. Por medio de la comunicación TCP/IP mediante un protocolo propietario se extrae los datos del módulo de adquisición de datos y control de energía que está instalado en la nave, esta información se procesa en el software de supervisión de energía, así se logra que esta información ayude al operador a tomar decisiones que involucren el control de energía e interactuar con los demás operadores durante los vuelos de la nave. (Torretagle Albán, Guillermo Miguel; Benalcázar, Marco ; Basile, Leonardo, 2010)</p>
<p>Parques Solares sistema de adquisición y comunicación de datos</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>A la salida del inversor existe un sistema de medida bidireccional para medir la generación y el autoconsumo, cuenta con una comunicación entre los equipos PLC de protocolo TCP/IP, no obstante el estándar industrial de comunicación de los inversores, medidores, entre otros, se realiza a través de comunicación Modbus. (Schneider, Electric, 2015)</p>

Sistemas Solares sistema de Supervisión y Televigilancia



El sistema de gestión OSS/BSS a través de la red PLC (TCP/IP), gestiona, telesupervisa todos los valores que se estén generando en cada uno de los equipos en el anillo de media tensión, a su vez está supervisando todas las alarmas que son generadas por los equipos inversores, alarmas de temperatura, presencia de personal en el centro de transformación, así como también alarmas de mal funcionamiento de los equipos PLC, inversores, entre otros. (Schneider, Electric, 2015)

Fuente: (Barragan, J., 2012)

Otros tipos de redes LAN:

- Ethernet-configuración 10Base2
- Ethernet-configuración 10BaseT
- Ethernet-CSMA/CD
- Gigabit Ethernet
- FDDI-Fiber Distributed Data Interface
- IEEE 802.11(Wireless)

2.7.5. Plataforma Cloud.

La plataforma cloud permite ofrecer servicios de computación a través de la red, además permite repartir recursos en diferentes servidores, para asignarles funcionalidades, todo dentro de un mismo entorno aislado y seguro. (Wales, J., 2016)

Se trata de una plataforma visualizada, cuyos recursos de espacio en disco, memorias y uso de procesadores, se encuentran equitativamente distribuidos dentro de una nube. De este modo los usuarios pueden acceder a sus recursos y servicios que presta la nube. (Wales, J., 2016)

La aplicabilidad de la plataforma cloud en sistemas solares fotovoltaicos aislados o con conexión a la red, proporciona información necesaria que permite al operador o propietario mantener, operar y controlar estos sistemas reduciendo costes de operación. A continuación, se detalla algunas de las más importantes características que se tiene de la plataforma cloud en sistemas solares: (Wales, J., 2016)

- Disponer de información en tiempo real del funcionamiento de paneles, baterías, reguladores, e inversores.
- Proceder a la auto-reparación de los problemas e inconvenientes en el sistema fotovoltaico.
- Desarrollar entornos de visualización de las magnitudes eléctricas registradas en tiempo real.
- Dispone de sistemas de almacenamiento y recuperación de datos.
- Acceder a la información del funcionamiento de la instalación desde cualquier lugar con acceso a internet.
- Realiza informes periódicos del seguimiento del comportamiento de la instalación. (Manzano, Santiago; Peña Ortiz, Raul; Guevara , David; Ríos, Alberto, 2014)

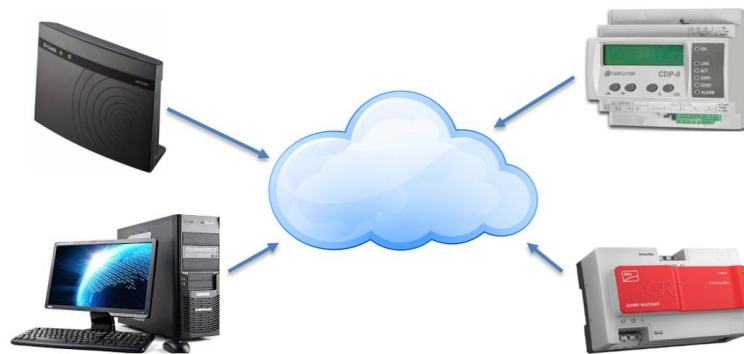


Figura 28 Plataforma Cloud

A. Tipos.

- **Nube pública**, es una nube que en su totalidad está gestionada y mantenida por terceras personas, los servicios que ofrece se sitúan en servidores externos al usuario, y de este modo se puede tener acceso de forma gratuita o de pago para descarga o utilización de aplicaciones. (Wales, J., 2016)

- **Nube privada**, esta nube es por lo general una buena opción para quienes necesitan una buena protección para sus datos y ediciones a un nivel de servicios, se encuentran dispuestas dentro de las instalaciones del usuario y generalmente no ofrecen ningún tipo de servicios a terceros. (Wales, J., 2016)
- **Nube híbrida**, es una combinación directa entre una nube pública y privada, esto quiere decir que el usuario de la nube comparte ciertas partes y otras las conserva. (Wales, J., 2016)

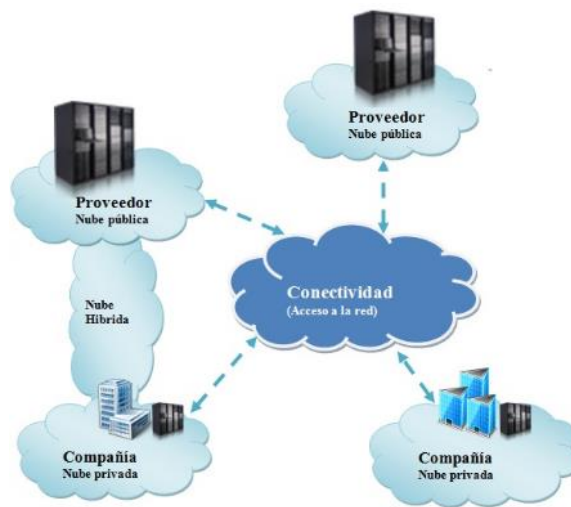


Figura 29 Tipos de plataforma Cloud

Fuente: (López, I., 2011)

B. Características.

Entre las características más importantes que presenta la plataforma cloud tenemos:

- **Almacenamiento masivo**, tiene la capacidad de poder colocar una gran cantidad de archivos, aplicaciones en pequeños espacios de memoria, beneficia enormemente en el aspecto económico ya que existe ahorro. (Prospecnet, 2015)
- **Capacidad de Procesamiento**, influye directamente en que no es necesario que se tenga que instalar servidores localmente para tener un buen rendimiento de la plataforma. (Prospecnet, 2015)

- **Interacción en tiempo real**, es muy importante ya que se puede tener una interacción inmediata, con la industria o proceso que esté involucrado con este tipo de plataforma. (Prospecnet, 2015)
- **Accesibilidad**, no está limitado para su visualización a través de computadores de escritorio, sino al contrario se puede interactuar con la plataforma desde cualquier dispositivo que tenga una conexión a internet. (Prospecnet, 2015)



Figura 30 Características de la plataforma Cloud

Fuente: (Parras, F., 2014)

C. Ventajas y desventajas.

La plataforma cloud permite acceder a las diferentes aplicaciones que posee desde cualquier dispositivo que este provisto de una conexión a internet, este puede estar ubicado en cualquier parte del mundo, de esta forma se le brinda al usuario mucha más libertad. Sin embargo, la plataforma cloud no es para todos, hay ventajas y desventajas de este tipo de informática que se basa totalmente en internet. (Prospecnet, 2015)

Tabla 6

Ventajas y desventajas de la plataforma cloud

Ventajas	Desventajas
Interacción probada de servicios de Red.	Requiere conexión permanente a internet

CONTINÚA 

Prestación de servicios a nivel mundial.	No funciona bien, con conexiones de baja velocidad
Gastos de informática menores	Posible pérdida de información
Costos de software reducidos	Los datos almacenados pueden no estar seguros
Actualizaciones instantáneas de software	
Capacidad de almacenamiento	
Aumento de fiabilidad de los datos	
Independencia del dispositivo	
Acceso universal a los documentos	

Fuente: (Prospecnet, 2015)

2.7.6. Estructuras y soportes.

A. Introducción

A menudo, cuando se proyecta una instalación solar fotovoltaica, toda la atención se centra en el cálculo de los módulos, se descuida el diseño y/o selección de los elementos que se encargan de soportar o de fijar estos módulos a la tierra, al tejado o a la fachada de un edificio. (Sánchez, 2011)

La estructura soporte asegura el anclaje del generador solar, y le proporciona la orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación solar incidente. Además, es encargada de hacer que los módulos o paneles fotovoltaicos resistan la acción ejercida por los agentes atmosféricos. (Sánchez, 2011)

B. Tipos

Las estructuras soporte se caracterizan por ser fijas, al estar los paneles colocados sobre soportes rígidos. Los soportes rígidos permiten mantener el ángulo de inclinación óptimo, aun cuando soplen vientos fuertes. Al elegir el

tipo de soporte más adecuado se habrá tenido en cuenta el costo máximo del sistema y el incremento porcentual de energía que se obtendrá utilizando algún otro tipo de soporte. (Sánchez, 2011)

Los lugares típicos donde se colocan las estructuras fijas de soporte para los módulos fotovoltaicos son suelos, tejados y fachadas. Y en función de la inclinación de la superficie, se optará por emplear soportes o perfiles y anclajes, para la colocación sobre fachadas. (Sánchez, 2011)



Figura 31 Estructura soporte sobre el tejado

Fuente: (Sánchez, 2011)



Figura 32 Ajustes en fachada

Fuente: (Sánchez, 2011)

No obstante, no todos los módulos se colocan sobre una estructura o se fijan mediante anclajes. Hay otros métodos para colocar los paneles de forma fija, como los empleados para la colocación de paneles flexibles. (Sánchez, 2011)

C. Materiales

Son numerosos, los fabricantes que se dedican a la fabricación de unidades de montaje modulares que pueden usarse en cualquier tipo de instalación y con cualquier tipo de módulo. (Sánchez, 2011)

a. Estructuras

Son elementos que están igual a los módulos solares y conexiones, por este motivo los materiales que se emplean para su construcción deben soportar los agresivos climas que rigen las condiciones atmosféricas. (Sánchez, 2011)

Las condiciones ambientales afectan de modo diferente a las estructuras de soporte, ya que existen fenómenos como la nieve, lluvia, heladas, entre otros, afectarán al tipo de material empleado. Las estructuras de soporte deben ser capaces de resistir un mínimo de 10 años de exposición a la intemperie sin signos de corrosión o fatiga apreciable. (Sánchez, 2011)

El material con el que se construyen las estructuras de soporte son generalmente de hierro protegido contra la corrosión mediante un tratamiento de galvanizado o zincado, pero en ambientes más corrosivos, como en cercanos a las costas, debe utilizarse acero inoxidable o acero protegido con un doble galvanizado en caliente. Este tratamiento proporciona un grosor mayor y, por tanto, una mayor protección. (Sánchez, 2011)

Todos los elementos metálicos que no estén debidamente protegidos contra la oxidación por el fabricante deben recubrirse con dos capas de pintura antioxidante. (Sánchez, 2011)

Elementos de fijación.

Para sujetar la estructura a la base de soporte, o para unir los diferentes perfiles que componen la estructura, es necesario emplear elementos como, bulones, pasadores, arandelas, tuercas, tornillos, tirafondos, entre otros, que pueden tener diferentes formas grosores y longitudes. (Sánchez, 2011)

Todos estos materiales deben ser de buena calidad, ya que, en cualquier momento, tras su instalación puede ser necesario su remoción, ya sea para proceder a la ampliación de un soporte, a la sustitución de un panel, entre otros. Además, al igual que el resto de las estructuras, la tornillería va a estar sometida a las inclemencias del tiempo, por no hablar de otros ataques, como la corrosión galvánica. Por eso, la tornillería que se emplea para el montaje

de las estructuras soporte debe ser de acero inoxidable o, en su defecto, estar galvanizada. (Sánchez, 2011)



Figura 33 Elementos de Tornillería

Fuente: (Sánchez, 2011)

En las uniones roscadas deben emplearse arandelas plásticas. Las arandelas se ajustan a la tuerca, evitando así que la unión se afloje. También evita que se produzca corrosión galvánica. Deben usarse siempre que entren en contacto con dos metales distintos, como sucede cuando la estructura es de aluminio y los tornillos de otro metal. (Sánchez, 2011)

D. Estructura soporte sobre cubiertas

El tejado es uno de los lugares más empleados para la colocación del sistema de generación fotovoltaica, ya que, por lo general, dispone de espacio y, al estar elevado, también presenta menos problemas con las sombras. Sin embargo, la colocación de la estructura soporte de los paneles puede afectar a la impermeabilización, por el tema de las sujeciones; en las estructuras sobre cubiertas, no deben estas traspasarse con los anclajes para evitar infiltraciones de agua. Además, cuando la instalación fotovoltaica se realiza sobre un tejado, hay que tener en cuenta tanto las cargas estáticas como las dinámicas. (Sánchez, 2011)

a. Cubierta plana

Cuando sobre una cubierta plana se va a colocar una estructura inclinada debe tenerse en cuenta que los anclajes empleados no pueden atravesar el forjado. Por ello, se emplean muretes de hormigón armado con varilla metálica, similares a los empleados para las fijaciones sobre el suelo, que actúan como contrapesos. (Sánchez, 2011)



Figura 34 Cubierta plana

Fuente: (Sánchez, 2011)

2.7.7. Dispositivos de protección, seguridad y cableado.

A. Introducción.

Las protecciones que proporciona el inversor permite eliminar el cuadro de protecciones con descargadores, fusibles, diodos, entre otros. las protecciones que incorpora el inversor son: protección contra polarización inversa, seccionador de carga, resistencia al cortocircuito, monitorización de toma a tierra, monitorización de red y protección diferencial integrada. (Moro, 2010)

Con respecto a las protecciones que deben tener las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red en baja tensión, se tiene:

- Límite de frecuencia.
- Máxima y mínima tensión respecto a cada fase.
- Cumplimiento de normas en cuanto a los armónicos y compatibilidad electromagnética (Moro, 2010)

B. Contactos directos.

Se trata de los contactos que tienen roce una parte del cuerpo con un elemento activo de una instalación, este tipo de contacto no es común y generalmente se producen cuando existe la manipulación de la instalación internamente. Por ejemplo: (blog.espol.edu.ec, 2011)

- Tanto el lado de continua como en el de alterna, no hay acceso directo a las conexiones en los módulos fotovoltaicos: conectores multicontacto aislados y caja de conexión aislada. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

- Cajas de conexión de campo de paneles: bornes en el interior de la caja con la tapa atornillada y prensaestopas en la entrada de cables. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)
- Cables: doble aislamiento.



Figura 35 Bornera de conexión

Fuente: (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

Las instalaciones fotovoltaicas deben poseer un cableado que cumpla ciertas características:

- Resistencia a la intemperie (diferencias de temperatura, resistencia al ozono, a los rayos ultravioletas, entre otros)
- Características mecánicas (resistencia a la tensión, torsión, doblado, entre otros)

Tipos de cableados:

- Cableado de unión de los módulos: para formar strings.
- Cableado principal de corriente continua: conduce la corriente hasta el inversor.
- Cableado de corriente alterna: conduce la corriente desde el inversor hasta la red. (Moro, 2010)

C. Contactos indirectos.

Se denomina contacto indirecto cuando una parte del equipo o instalación que se haya bajo tensión debido a fallas ya sean de cualquier índole, es decir, que en condiciones normales de funcionamiento no deben estar bajo tensión. Son muy comunes pero difíciles de detectar a simple vista. Dando como ejemplo: (blog.espol.edu.ec, 2011)

- Diferencial con sensibilidad de mA y toma de tierra.



Figura 36 Diferencial Bipolar

Fuente: (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

D. Cortocircuitos. A tener en cuenta lo siguiente:

- El inversor tiene en cada una de las entradas de continua un magnetotérmico con curva C, salida del inversor protegida mediante un magnetotérmico de 15 A curva C. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

Curva característica de desconexión tipo C,

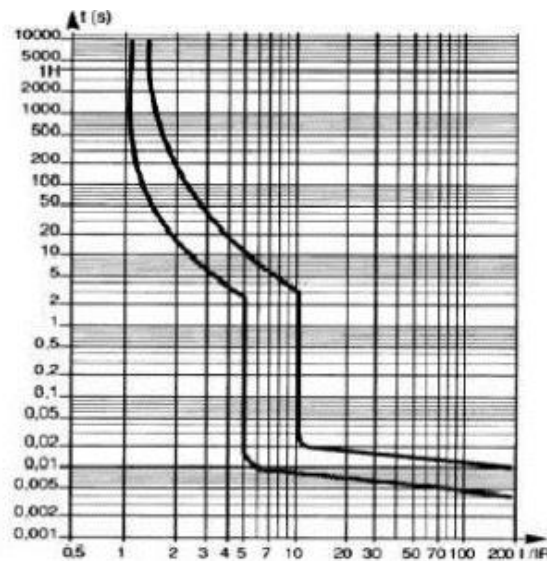


Figura 37 Curva C, Para protección de circuitos

Fuente (Mendez, 2011)

E. Sobrecargas. A tener en cuenta lo siguiente:

- Es una situación que no puede darse nunca, ya que el campo de paneles está definido según la potencia máxima que tiene el inversor. La única situación que se produciría de sobrecarga es si se aumentara el campo de

los paneles de forma indebida y sin consultar al instalador. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

F. Sobreensiones. A tener en cuenta lo siguiente:

- Tanto la entrada de continua como en la salida de alterna, el inversor, está protegido mediante varistores. (Calero Pérez, Roque & otros, 2013)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y SELECCIÓN

Los equipos al igual que los módulos de laboratorio permiten profundizar el estudio, como es el caso de los sistemas fotovoltaicos con conexión a red, el módulo al igual que los equipos instalados permiten un monitoreo en tiempo real de la cantidad de energía que es suministrada a la red, de igual manera debe permitir un monitoreo constante del recurso solar (irradiancia).

3.1. Despliegue de la función de calidad

El método usado es de la gestión de la calidad el cual transforma las demandas del usuario en la calidad del diseño, proporcionar el mayor número de funciones para el aporte de calidad o la utilización de nuevos métodos para alcanzar la calidad del diseño.

3.2. Consideraciones del proyecto.

Este proyecto tiene como objetivo realizar el diseño e implementación de un sistema didáctico de generación fotovoltaica de conexión a la red, para realizar prácticas de monitoreo y adquisición de las magnitudes eléctricas como: voltajes, corrientes, potencia, frecuencia y energía.

En la actualidad la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga no cuenta con este tipo de sistemas, dando lugar a la realización de este proyecto.

Los componentes del sistema didáctico deben contar con el equipamiento necesario que permita captar la energía emitida del sol, convirtiéndola en energía eléctrica e inyectándola a la red.

- Un monitoreo en tiempo real, de la energía generada por el sistema, al igual que las magnitudes eléctricas fundamentales, voltaje, frecuencia, corriente y potencia, mediante la utilización de una PC.
- Registro y monitoreo del recurso solar mediante un sensor de radiación.
- Desarrollo de prácticas.

3.3. Técnica de despliegue de la función de la calidad

Se basó en el análisis de las diferentes necesidades del usuario, las mismas que se expresan en términos como: maniobrable, elegante, seguro, confiable, entre otros. Lo cual determina que la función de la calidad este dado por:

- Necesidades del cliente.
- Requerimientos de diseño.
- Características del proceso.
- Entrada en el mercado. (Ind del agua Invesquia, 2016)

3.4. Beneficios del despliegue de la función de calidad.

- Satisfacen las necesidades del cliente.
- Diseño acorde con los requerimientos del cliente por medio de equipos o sistemas.
- Interpreta los requerimientos que presenta el cliente a los requerimientos de diseño, para el desarrollo y fabricación del producto.

3.5. Casa de la Calidad

La casa de la calidad (Ver figura 38), es la representación gráfica de donde se busque cubrir las necesidades de los usuarios cumpliendo con el diseño. Esta herramienta actúa como guía para el entendimiento de las prioridades como requerimientos de los usuarios y satisfacer estas necesidades de manera innovadora.

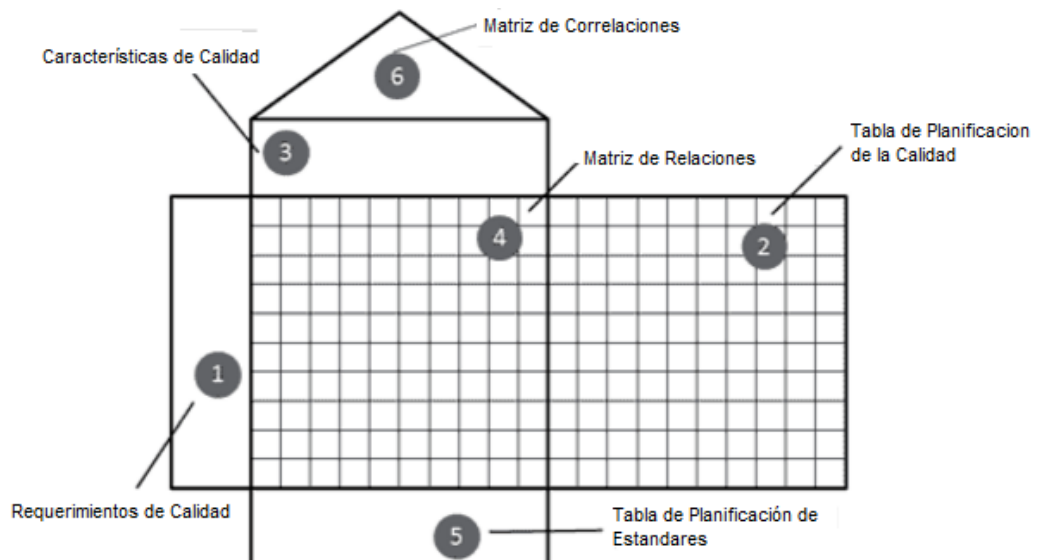


Figura 38 Casa de la Calidad

Fuente: (Aiteco, 2013)

3.5.1. Requerimientos de Clientes

Los requerimientos deben ser objetivos de tal forma que se priorice la identificación de lo que requiere el cliente.

3.6. La voz del usuario

Esta determina el criterio y necesidad de lo que requiere el cliente para satisfacer sus necesidades al instante de construir el módulo didáctico, el cual está detallado a continuación:

- El proceso de monitoreo y registro de datos debe ser confiable y de fácil manipulación.
- El uso de protecciones eléctricas.
- La estructura de la estación de trabajo, como la estructura soporte del panel deben ser robustas y de fácil mantenimiento.
- El módulo didáctico debe permitir la manipulación de sus elementos y la realización de las prácticas.

3.7. La voz del Ingeniero.

Una vez analizadas las necesidades del usuario, se procede a determinar los requerimientos técnicos con las que se puede cumplir con las demandas de la voz del usuario:

- Factor de seguridad apropiado.
- Factor de diseño.
- Diseño estructural.
- Dimensionamiento.
- Tipo de material utilizado para la construcción.
- Exactitud y precisión de los dispositivos utilizados.
- Voltaje de operación.
- Potencia del sistema.

3.8. Diagrama de la cada de calidad (ver anexo F)

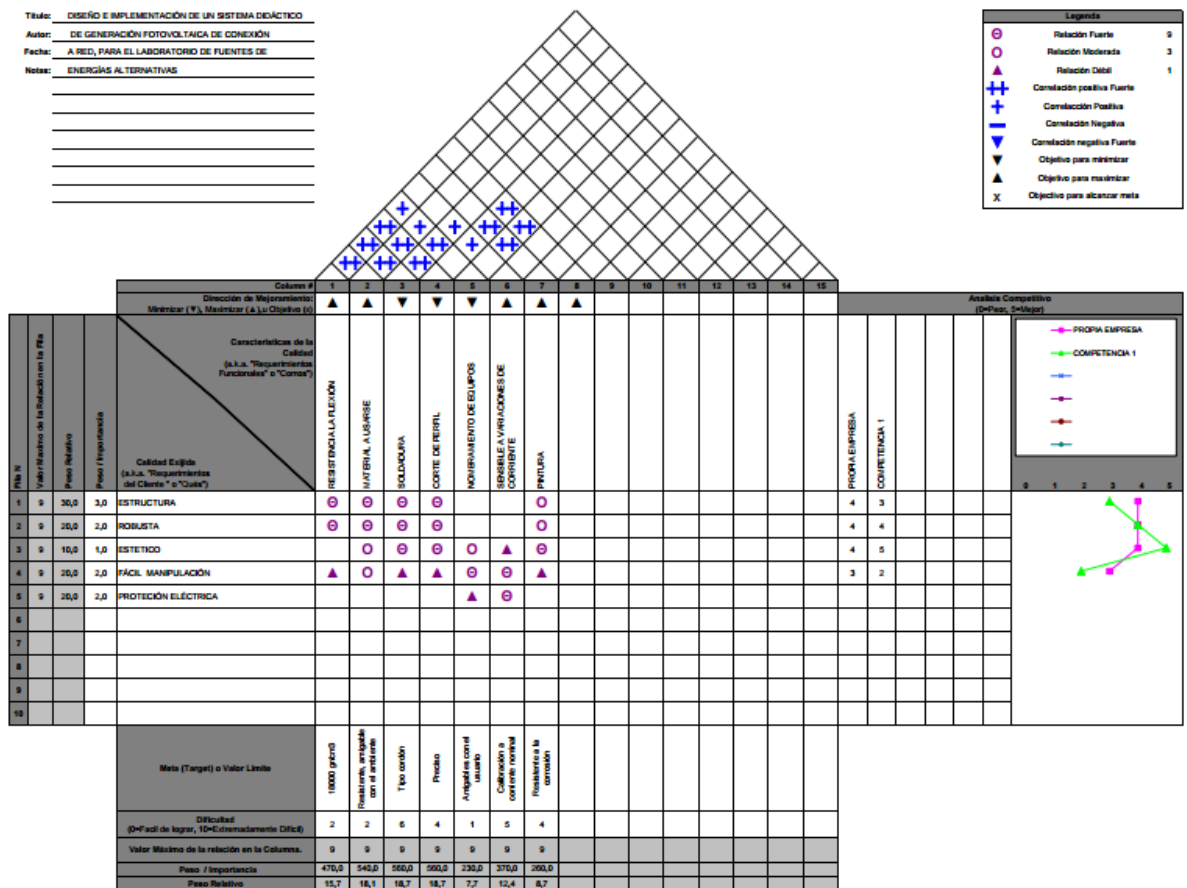


Figura 39 Diagrama de la Casa de la Calidad

3.9. Conclusiones de la casa de Calidad

En la figura 39 se puede apreciar el diagrama que determina la casa de la calidad del módulo didáctico de conexión a la red, para el sistema fotovoltaico, este determina las características técnicas. A continuación, se detalla los requerimientos más importantes:

- Diseño estructural.
- Selección de equipos.
- Tipo de material.
- Fácil manipulación.
- Confiabilidad y fiabilidad del proceso.

3.10. Descripción del módulo didáctico

Con los datos adquiridos en el diagrama de la casa de calidad se establece las especificaciones técnicas, las mismas que están detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 7

Descripción del Módulo Didáctico

No.	Concepto	Propone	R/D	Descripción
1	Función	C	R	Que el sistema tenga un buen desempeño mecánico y eléctrico.
		C	R	Integrar los componentes del sistema adecuadamente.
		C	R	Las protecciones eléctricas se seleccionarán de acuerdo a la corriente máxima del sistema.
		C	R	El sistema dispondrá de un sistema de adquisición y monitoreo de datos en tiempo real.
2	Dimensiones	D	R	Las dimensiones del módulo didáctico permitirán un acople perfecto con los componentes del sistema.
3	Materiales	D	R	El material apto para la construcción del módulo didáctico es el acero estructural ASTM A500.
4	Construcción	F	R	La construcción del módulo didáctico se debe hacer, de tal forma que cumpla con los

CONTINÚA



				requerimientos propuestos por el cliente.
4	Mantenimiento	C	R	Se debe realizar tareas a condición en un tiempo de 3 meses.
5	Seguridad	C	R	El módulo en su totalidad está construido con fines didácticos, por lo que cumplirá con las protecciones necesarias para evitar lesiones a los estudiantes.
6	Costo	C	R	El módulo tendrá un costo aproximado de \$2000.

Propone: M=Márquetin, C=Cliente, D=Diseño, P=Producción, F=fabricación.

R/D: R=Requerimientos, D=Deseo, MR=Modificación de Requerimientos.

3.11. Análisis Funcional

El objetivo del análisis funcional es clasificar las acciones que se efectúan en el sistema, de este modo entender el funcionamiento del mismo, y a su vez buscar posibles soluciones en caso de existir algún tipo de inconveniente. La descomposición de las funciones del sistema permite mediante diagramas de flujo mostrar una función que puede tener tres tipos de entrada y salida como son: material, señal y energía.

3.11.1. Características de construcción del módulo didáctico.

Entre las principales características se tiene, la estructura con sus dimensiones tanto para la estación de trabajo como para la estructura soporte del generador fotovoltaico, así como en el proceso de control y monitoreo de datos (voltaje, corriente, frecuencia, potencia, energía), los mismos que serán visualizados en tiempo real a través de una PC, de igual manera a través del sensor de radiación solar, permite cuantificar el recurso solar.

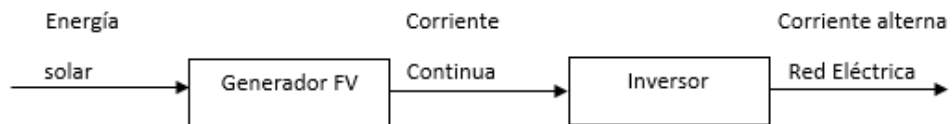
3.12. Estructura Funcional

3.12.1. Diagrama funcional del módulo didáctico

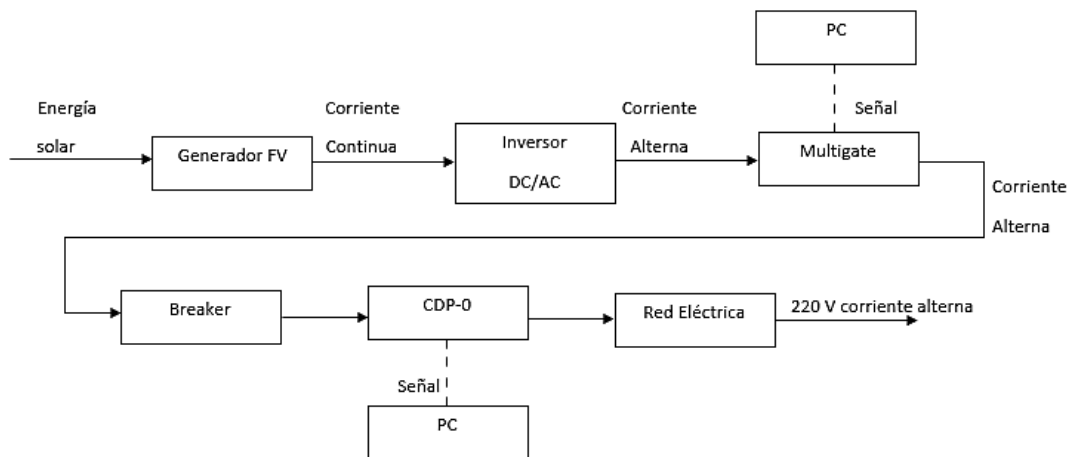
Nivel 0, aquí se representa la función general; esta representa la tarea principal que va realizar el módulo didáctico de conexión a la red, y poder diseñar y establecer los flujos de entrada y salida.

Nivel 1 y 2, representación más precisa de una determinada parte del proceso que se presenta en el módulo, por lo que se tiene al dividir la función principal en sub-funciones y a la vez, establecer las relaciones de flujo que se presentan entre sí.

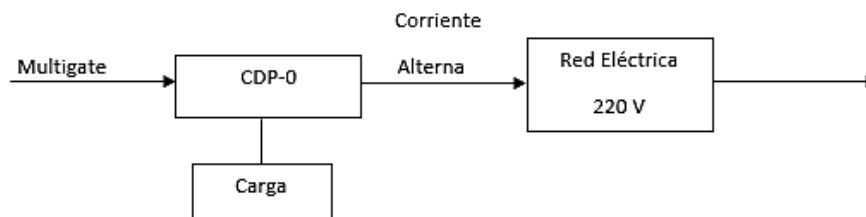
Nivel 0



Nivel 1



Nivel 2



3.12.2. Análisis funcional del sistema estructural

Permite analizar los equipos que irán acoplados conjuntamente al sistema dando lugar al módulo didáctico de generación fotovoltaico de conexión a la red.

3.13. Determinación funcional del diagrama de ensamblaje

El módulo que se pretende implementar estará conformado principalmente por dos partes: la estructura soporte del generador fotovoltaico y la estación de trabajo, estas se encuentran organizadas en base a bloques estructurales orientados al buen funcionamiento o desempeño del sistema. Los equipos que se encuentran en el módulo didáctico se encargarán de proyectar el diseño del módulo.

3.14. Consideraciones del equipo modular

Tener en cuenta las siguientes consideraciones, previas al momento de esquematizar y acoplar módulo didáctico, como se detalla a continuación:

- Selección de los equipos.
- Maniobrabilidad adecuada.
- Eficiencia del diseño estructural.
- Capacidad de integrar las conexiones del sistema.
- Costos.

Estos detalles buscan proporcionar una idea de calidad al módulo didáctico, en base al diseño como en los procesos que se realizarán en el mismo, sin embargo, esto no garantiza la solución más adecuada, esto se debe a que existen otros puntos que deben considerarse como el aumento de costos, así como operaciones extras debido a la mala distribución de los elementos.

3.15. Diseño morfológico

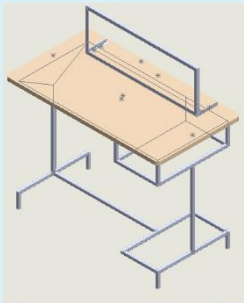
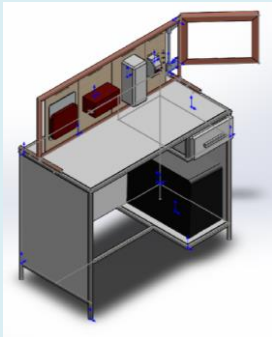
Este plantea alternativas tanto para la estación de trabajo como para la estructura soporte, esto permitirá la mejor selección dependiendo de las necesidades que se requiera, estas no están centralizadas en un elemento o equipo en particular sino se deben considerar distintos aspectos del sistema en base a criterios con fundamentos, los cuales se detallan a continuación:

- Características constructivas.
- Disposición de los equipos.
- Tamaño.
- Fácil manipulación.

- Costo

Tabla 8

Matriz de decisión de la estación de trabajo.

Estación de trabajo	Características	
Alternativas	Ventajas	Desventajas
A		
	Liviano	No permite movimiento
	Bajo costo	Bajo nivel estético
	Fácil implementación	Estructura fija
		Frágil
B		
	Robusto	Alto costo
	Estético	
	Fácil movilidad	
	Estructura desmontable	

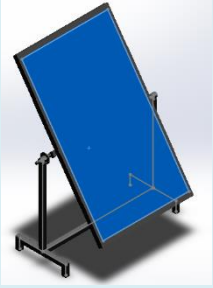
Una vez analizadas las alternativas A como B y teniendo en cuenta las condiciones de diseño para la construcción, se eligió la alternativa B, ya que brinda características de robustez, movilidad y su estructura desmontable.

Soporte para el generador fotovoltaico

Para el soporte del generador fotovoltaico depende igual forma de lo que el usuario necesita, así que dependerá del funcionamiento óptimo, a continuación, se detallan las principales características.

Tabla 9

Características de la estructura soporte

Soporte del generador fotovoltaico		Características	
Alternativas		Ventajas	Desventajas
A			
		Fácil movilidad	Alto costo
		Estético	
		Robusto	
		Maniobrabilidad	
		Rotabilidad	
		Resistente a esfuerzos	
B			
		Bajo costo	No movilidad
		Liviano	No maniobrabilidad
		Resistente a esfuerzos	No rotabilidad

Después de analizar la alternativa A como la B y tomado en cuenta las condiciones de diseño necesarias para la construcción del soporte del generador fotovoltaico se selecciona la alternativa A, por sus características de movilidad, maniobrabilidad y rotabilidad.

3.16. Diseño mecánico – eléctrico – electrónico

En la siguiente tabla se analizará cada uno de los elementos mecánicos eléctricos y electrónicos que servirán para la adecuada construcción del módulo didáctico, es de suma importancia que este análisis se lo realice mediante el criterio de deflexión y esfuerzos que va a soportar la estación de trabajo y la estructura soporte, de igual manera realizaremos el dimensionamiento mediante cálculos para la selección de los componentes eléctricos y electrónicos.

Tabla 10

Datos técnicos del módulo didáctico

Parámetro	Valor
Mecánicos	
Máximo peso que soportará la estructura soporte del generador fotovoltaico.	18Kg
Máximo peso que soportará la estación de trabajo.	30 Kg
Material para la estructura soporte y la estación de trabajo.	Acero de construcción tubería cuadrada.
Material para recubrimiento de la estación de trabajo.	Acero laminado.
Tipo de acabado superficial	Pintura electrostática
Dimensiones de la estructura soporte.	120cm*100cm*50cm
Dimensiones de la estación de trabajo.	80cm*100cm*50cm
Eléctricos	
Voltaje nominal de operación del sistema	One-phase it no neutral
Frecuencia de Operación del Sistema	60Hz
Tipo de acometida a la red	Monofásico 220V
Tipo de protección	Disyuntor bifásico
Adquisición de datos de la Planta Fotovoltaica	Tiempo Real
Monitoreo de la Planta Fotovoltaica	Mediante PC
Evaluación del recurso Solar	Mediante piranómetro
Cuantificación de la energía producida por la planta Fotovoltaica	Medidor bidireccional

3.17. Estructura física y componentes

A. Estación de trabajo

La estación de trabajo se diseña para soportar el peso de los diferentes equipos del módulo didáctico, estos componentes estarán dispuestos en la parte frontal de forma fácil y sin ningún tipo de deformación, además deberá facilitar su movilidad. Los planos constructivos de la estación de trabajo se presentan en el anexo B.

Las medidas óptimas para la estación de trabajo son: 1000 *mm de largo* × 500 *mm ancho* y 80 mm de alto, medidas recomendadas para el uso en el laboratorio de fuentes alternativas.

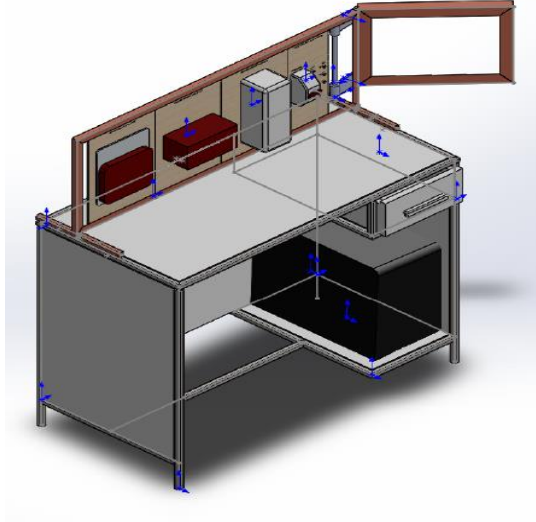


Figura 40 Diseño Morfológico de la estación de trabajo

La estación de trabajo se diseña con tubo cuadrado y será recubierta con acero laminado, además estos serán sometidos al proceso de pintura electrostática para tener un mejor acabado. Para esto se muestra en la siguiente figura que representa la estructura del diseño inicial que se ha realizado en el software Solid Works.

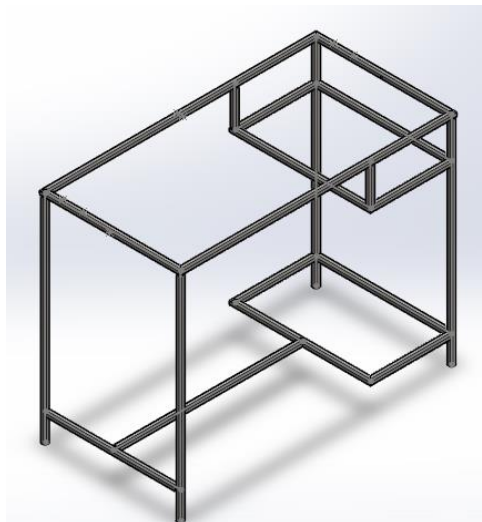


Figura 41 Estructura de la estación de trabajo

Para empezar con el diseño mecánico de la estación de trabajo se realiza los cálculos de esfuerzo y deflexión, tomando como datos las siguientes especificaciones:

- Esfuerzo permisible para el material ASTM A36 es de 250 MPa .
- Fuerza externa de 294,199 N que corresponde a 30 Kg de peso.

Donde:

$[\sigma]$ = Esfuerzo permisible del acero ASTM A36.

$$[\sigma] = 0,66S_y \quad \text{Ec. (10)}$$

$$[\sigma] = 0,66 * 250MPa$$

$$[\sigma] = 165MPa$$

$[\delta]$ = Deflexión permisible de la estación de trabajo

$$[\delta] = \frac{L}{800} \quad \text{Ec. (11)}$$

L = Distancia entre los rodillos

$$[\delta] = \frac{1000}{800} = 1,25mm$$

Para validar los cálculos realizados, se utiliza el software ANSYS, para lo cual se exporta el diseño inicial mediante formato *.iges*, abrir el archivo y como primer paso seleccionar el tipo de material. En este caso: acero ASTM A36.

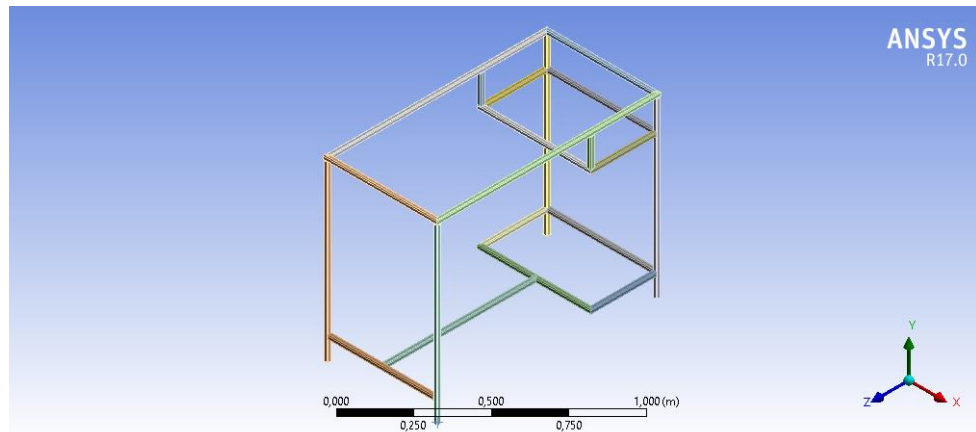


Figura 42 Geometría de la estación de trabajo

Previamente para iniciar con el proceso de simulación, se configura la malla bajo el criterio estadístico RATIO JACOBIANO, que manifiesta el promedio (AVERAGE) de tamaño del elemento finito debe aproximarse lo más cercanamente posible a 1. (ver figura 43)

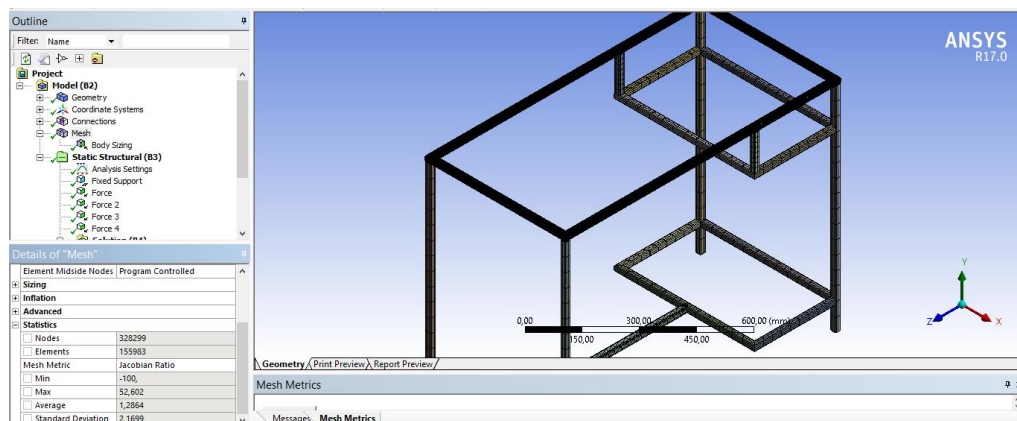


Figura 43 Mallado criterio Ratio Jacobiano

Para iniciar con el proceso de simulación, se coloca las condiciones de borde, en este caso los puntos de fijación son la base de la estación de trabajo. (ver figura 44)

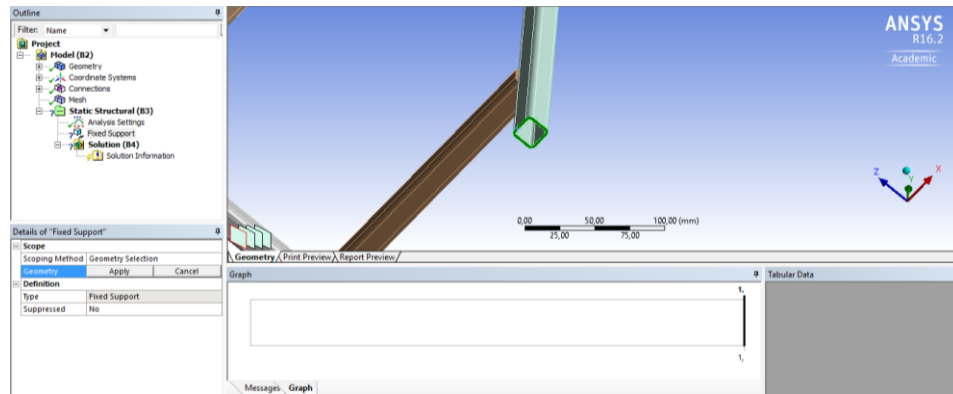


Figura 44 Condiciones de Borde

Seleccionando la opción cargas remotas se establece el punto en el cual de las cargas van a actuar sobre la estación de trabajo (ver figura 45).

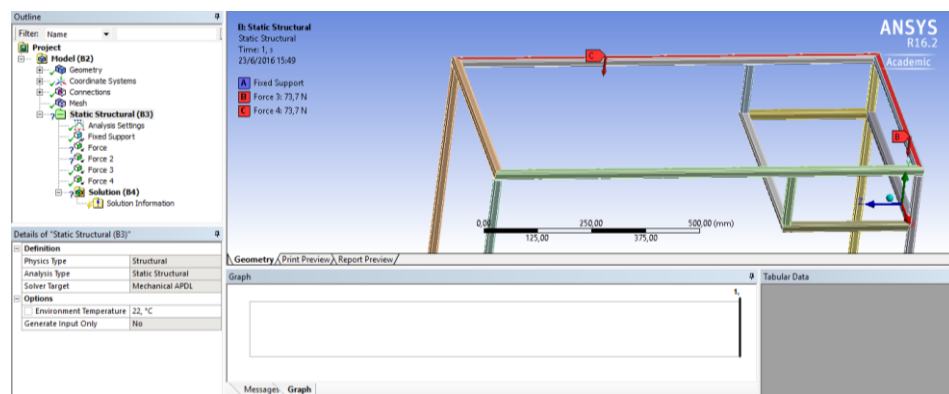


Figura 45 Punto de acción de la carga

En la siguiente figura se puede visualizar el estudio de tensiones, y se puede observar que el esfuerzo máximo que va a soportar la estructura, obtenido a partir de la simulación es de $2,935 \text{ MPa}$, aplicándole una fuerza externa de $294,199 \text{ N}$.

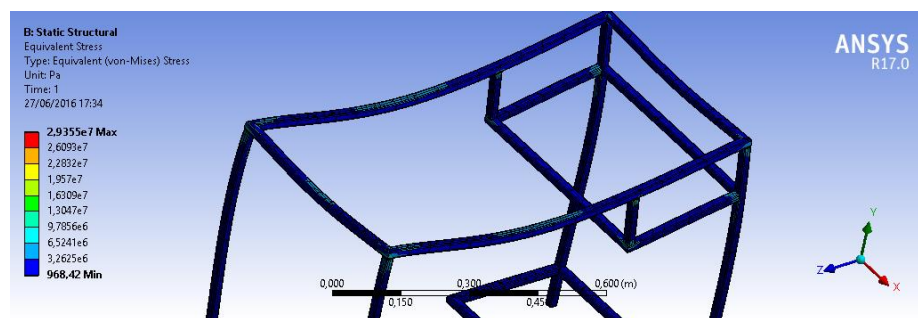


Figura 46 Análisis de esfuerzos en la estación de trabajo.

A continuación, en la figura 47 se muestra que el desplazamiento que sufre la estructura es de $1,6 * 10^{-4} \text{ mm}$.

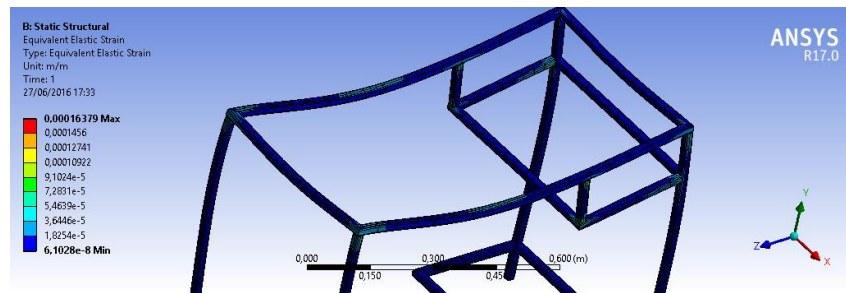


Figura 47 Análisis de deflexiones de la estación de trabajo.

El factor de seguridad mínimo que determinó el software es de 8,51 como se puede observar en la figura 48 lo cual indica que está dentro de los parámetros. Por tanto, al revisar que todos los parámetros anteriormente calculados y posteriormente simulados cumplen satisfactoriamente. Por lo que se concluye que la estación de trabajo para el módulo didáctico no va a sufrir ningún tipo de deformación o daño, lo que asegura que la estructura está correctamente diseñada.

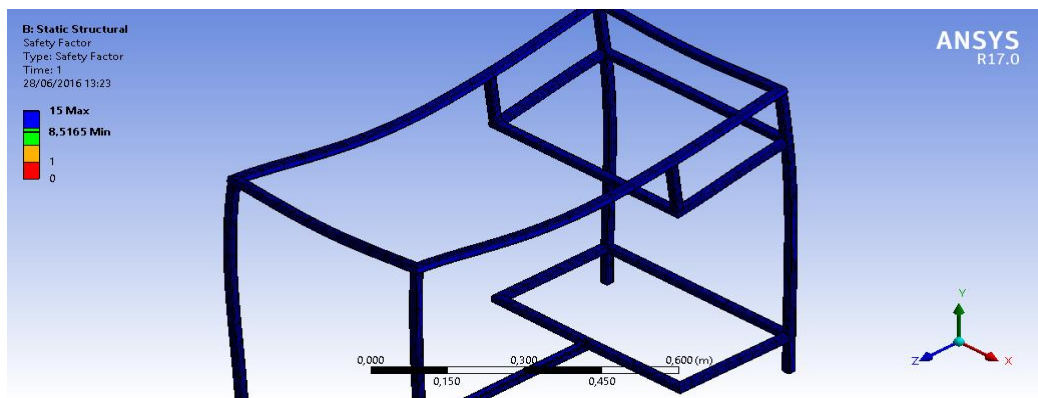


Figura 48 Análisis del factor de seguridad.

Para la validación de los datos calculados se procede a comparar los valores y ver si el diseño es satisfactorio:

Primera condición

$$\sigma_r \leq [\sigma]$$

Ec. (12)

Donde:

σ_r = Esfuerzo que soporta la estación de trabajo (dato simulado)

$$\sigma_r = 2,935 \text{ MPa}$$

$[\sigma]$ = Esfuerzo permisible del acero ASTM A36 (dato calculado)

$$[\sigma] = 165 \text{ MPa}$$

$$2,935 \text{ MPa} \leq 165 \text{ MPa}$$

Segunda Condición

$$\delta_r \leq [\delta] \quad \text{Ec. (13)}$$

Donde:

δ_r = Deflexión que soporta el tubo cuadrado (dato simulado).

$$\delta_r = 1,6 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$[\delta]$ = Deflexión permisible de la estación de trabajo (dato calculado).

$$[\delta] = 1.25 \text{ mm}$$

Donde:

$$1,6 * 10^{-4} \text{ mm} \leq 1,25 \text{ mm}$$

Con los resultados obtenidos, se determinará las condiciones de simulación, esfuerzo y deflexión, estas no deberán sobrepasar los límites calculados y se deben encontrar dentro de los parámetros establecidos, es decir, las cargas a las que estará sometida la estación de trabajo no afecten su correcto funcionamiento. Por lo que se concluye que el diseño de la estación de trabajo es satisfactorio.

B. Estructura Soporte

La estructura soporte se diseña para soportar todo el peso del panel fotovoltaico que equivale a 18 Kg, además esta implementada con ruedas lo

que facilita su movilidad. Los planos constructivos de la estructura soporte se presentan en el anexo B.



Figura 49 Diseño morfológico de la estructura soporte.

La estructura soporte para el panel fotovoltaico, se diseña a partir de tubo cuadrado en su totalidad, y estará recubierto por pintura electrostática para un mejor acabado y resistencia a la corrosión, en la siguiente figura se muestra la estructura del diseño realizado en el software Solid Works.

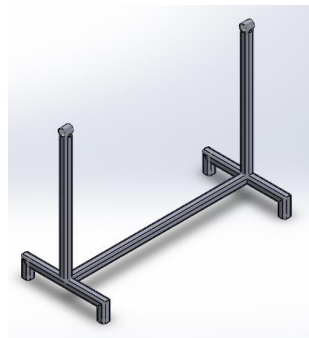


Figura 50 Estructura soporte

Para empezar con el diseño mecánico de la estructura soporte se realiza cálculos de esfuerzo y deflexión, tomando como datos las siguientes especificaciones:

- Esfuerzo permisible para el material ASTM A36 es de 250 *MPa*.
- Fuerza externa de 196.13 *N*

Donde:

$[\sigma]$ = Esfuerzo permisible del acero ASTM A36.

$$[\sigma] = 0,66S_y$$

$$[\sigma] = 0,66 * 250 \text{ MPa}$$

$$[\sigma] = 165 \text{ MPa}$$

$[\delta]$ = Deflexión permisible de la estructura soporte

$$[\delta] = \frac{L}{800}$$

L = Distancia entre los rodillos

$$[\delta] = \frac{1200}{800} = 1,5 \text{ mm}$$

Para la determinación de los esfuerzos requeridos para el diseño, se utiliza el software ANSYS, para lo cual se exporta el diseño inicial mediante formato *.iges*: se abre el archivo y como primer paso se selecciona el tipo de material en este caso, acero ASTM A36.

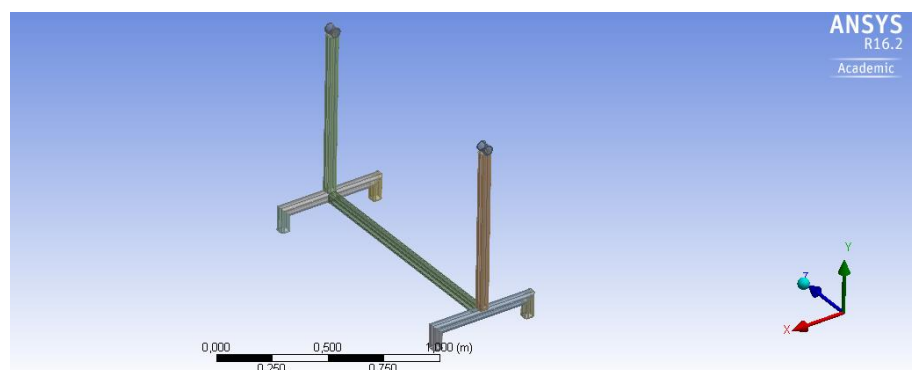


Figura 51 Geométrica de la estructura soporte

Previamente para iniciar con el proceso de simulación, se configura la malla bajo el criterio estadístico RATIO JACOBIANO, que manifiesta que el promedio (AVERAGE) de tamaño del elemento finito debe aproximarse lo más cercanamente posible a uno (ver figura 52).

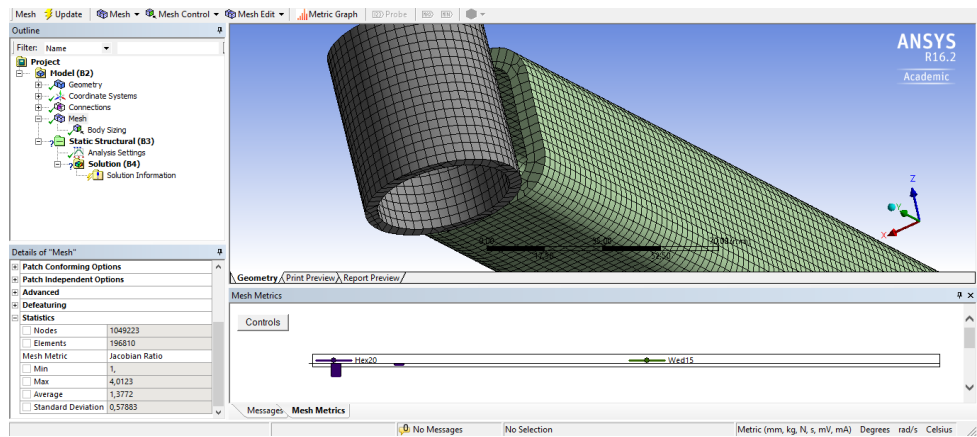


Figura 52 Mallado criterio Ratio Jacobiano

Se coloca las condiciones de borde, en este caso los puntos de fijación son la base de la estructura soporte. (ver figura 53).

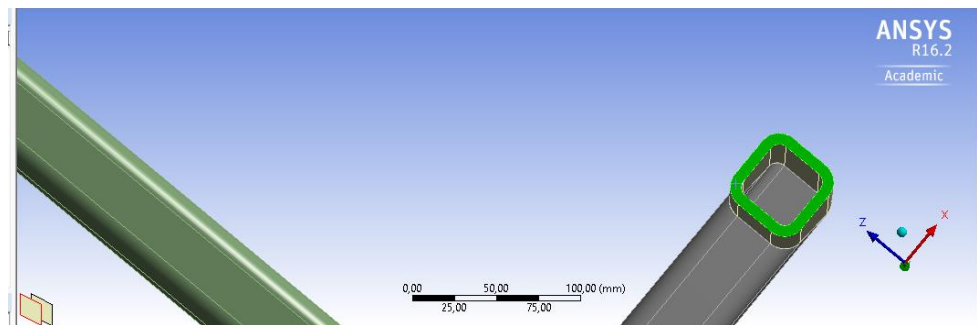


Figura 53 Condiciones de borde.

Seleccionando la opción cargas remotas se establece el punto en el cual de las cargas van actuar sobre la estructura soporte, (ver figura 54).

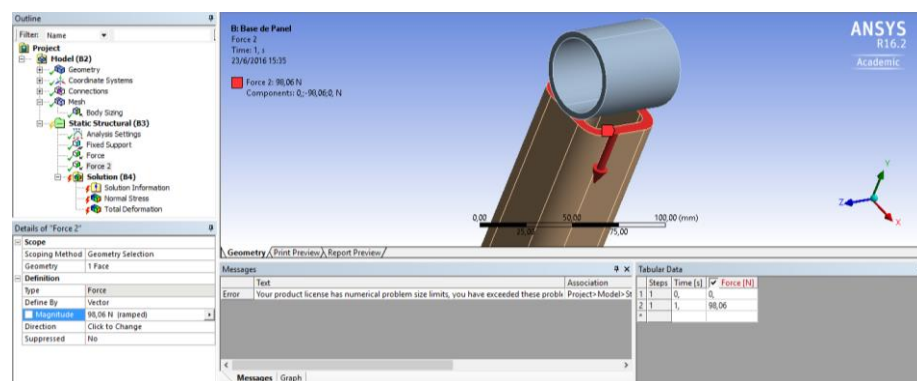


Figura 54 Punto exacto de acción de la carga

En la siguiente figura se puede visualizar el estudio de tensiones donde se puede observar que el esfuerzo máximo que va a realizar la estructura soporte, es de $0,1015 \text{ MPa}$ aplicándole una fuerza externa de 196.13 N

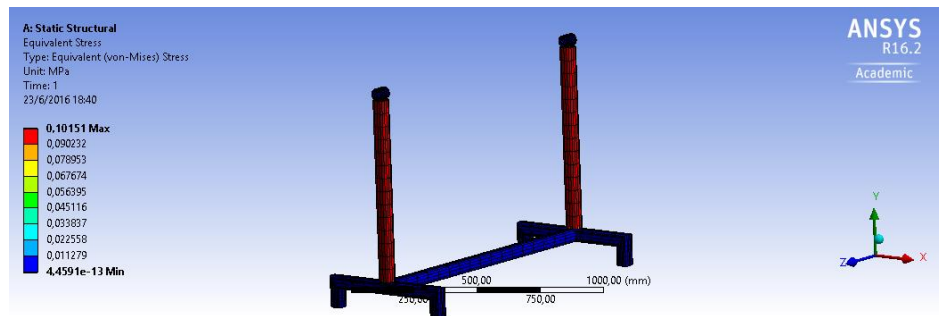


Figura 55 Análisis de esfuerzos de la estructura soporte.

Por tanto, cumple con la condición, esto indica que el diseño es satisfactorio. A continuación, en la figura 56 muestra el desplazamiento que sufre la estructura soporte: es de $5,0759 \times 10^{-7}$

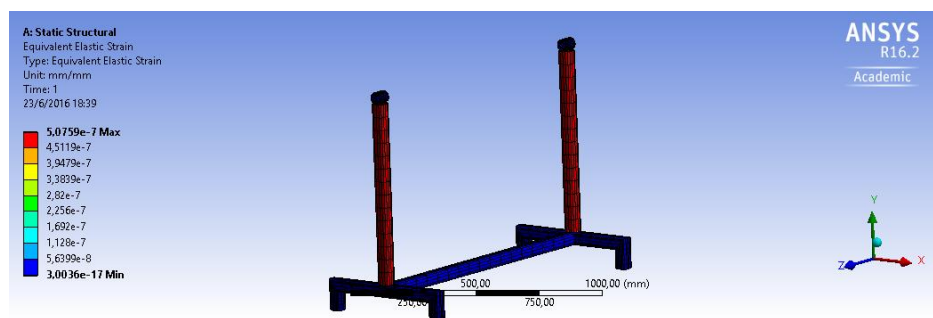


Figura 56 Análisis de deflexiones de la estructura soporte

El factor de seguridad mínimo que determina el software es de 15 tal como se observa en la figura 57 lo cual establece que está en el límite de los parámetros. Por tanto, al revisar los parámetros anteriormente simulados y posteriormente calculados, cumplen satisfactoriamente; por lo que se concluye que la estructura soporte del GF no va a sufrir ningún tipo de deformación o daño, lo que asegura que la estructura está correctamente diseñada.

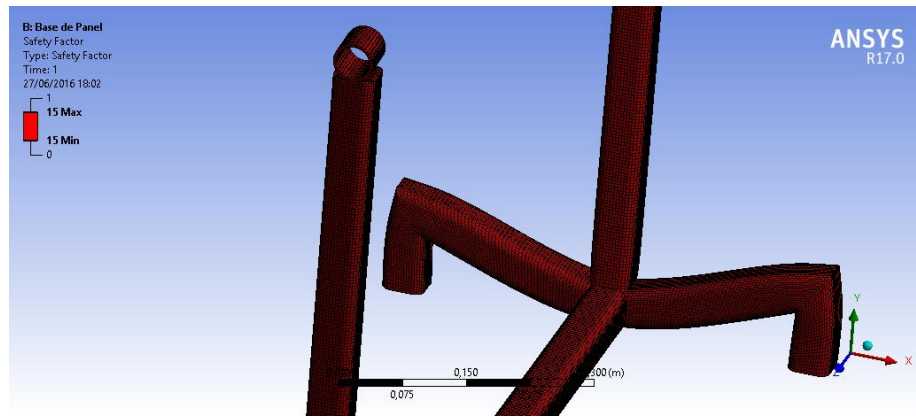


Figura 57 Análisis de factor den seguridad.

Para la validación de los datos calculados se procede a comparar los valores y ver si el diseño es satisfactorio:

Primera condición

$$\sigma r \leq [\sigma]$$

Donde:

σr = Esfuerzo que aguanta la estructura soporte (dato simulado)

$$\sigma r = 0,1015 \text{ MPa}$$

$[\sigma]$ = Esfuerzo permisible del acero ASTM A36 (dato calculado)

$$[\sigma] = 165 \text{ MPa}$$

$$0,1015 \text{ MPa} \leq 165 \text{ MPa}$$

Segunda Condición

$$\delta r \leq [\delta]$$

Donde:

δr = Deflexión que soporta el tubo cuadrado (dato simulado).

$$\delta r = 5,0759 \times 10^{-7} \text{ mm}$$

$[\delta]$ = Deflexión permisible de la estructura soporte (dato calculado).

$$[\delta] = 1.5 \text{ mm}$$

Donde:

$$5,0759 * 10^{-7} \text{ mm} \leq 1,5 \text{ mm}$$

Con los resultados obtenidos, se determina que las condiciones de simulación de esfuerzo y deflexión, no sobrepasan los límites calculados y se encuentran dentro de los parámetros establecidos, por tanto, las cargas a las que va a estar sometida la estructura soporte no afectarán a su correcto desempeño. Por lo que se concluye que el diseño de la estructura soporte es satisfactorio.

C. Accesorios

Soporte para los módulos. Este accesorio va montado sobre la estación de trabajo, de tal manera que permite observar los elementos en forma secuencial y didáctica, además permitir acoplarlos o desacoplarlos de acuerdo a las necesidades que se presenten. El peso de esta estructura incluyendo el de los equipos es de 30Kg Se puede evidenciar los planos en el anexo B.

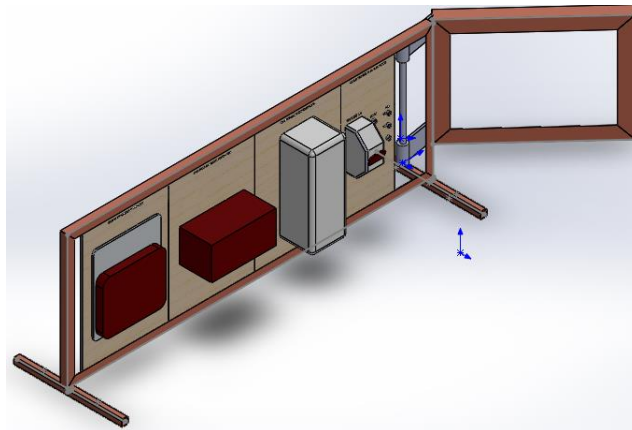


Figura 58 Soporte para los módulos

Mecanismo de sujeción y posicionamiento. Por medio de este mecanismo podemos anclar el generador fotovoltaico, a la estructura soporte y también permitir la posición adecuada con respecto a la posición del sol. Se puede evidenciar los planos en el anexo B.



Figura 59 Mecanismo de sujeción y posicionamiento

3.18. Sistema de generación Fotovoltaico

Un sistema solar está compuesto por varios componentes que tienen como función principal transformar la energía recibida por el sol y convertirla en energía eléctrica, de esta forma se contribuye directamente a la reducción de emisiones de CO_2 al medioambiente. Consta principalmente de dos componentes:

- Generador solar fotovoltaico.
- Inversor de corriente DC/AC

3.18.1. Selección del generador fotovoltaico




Para la selección del generador solar se refiere básicamente a la potencia máxima que se va a disponer la planta fotovoltaica, en este caso es de 230 Wp, ya que a nivel del laboratorio de la universidad maneja estos rangos de potencias, y además por la capacidad de medidas de los instrumentos, en cuanto a corriente (0-7 A), voltaje (0-240 VAC) y potencia (0-250 W) que ofrecen los instrumentos de medida.

El generador fotovoltaico debe constar con los siguientes parámetros para su adecuada selección:

- Tensión de operación (23-32) VDC
- Potencia 230 Wp

Tabla 11

Matriz de decisión del generador fotovoltaico

Modelo Especificaciones	SIMAX 156 Solarmodule (SM660-230W- 240W-250W) Model: SP670-230	SIMAX (Suzhou) Green New Energy Co. Ltd Model: SP660-230	Sunmodule SW 230 mono / Versión 2.0
			
Potencia máxima (Pmax)	230 W	230 W	230 W
Tolerancia	0 - $\pm 3\%$	$\pm 3\%$	$\pm 3\%$
Eficiencia	14.8%	14.3%	16%
Voltaje de Pmáx (Vmp)	29.7 V	30 V	30,0V
Corriente de Pmáx (Imp)	7.69 A	7.67 A	7,68A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	36.8 V	36.5 V	37.4 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8.30 A	8.56 A	8,16A
Características mecánicas			
Tipo de Célula	POLY-Si	POLY-Si	Mono crystalline
Número de Células	60(6*10)	60(6*10)	60
Dimensiones (mm)	1640x992x40	1640x992x50	1675x1001x31
Peso	19.1 KG	18 KG	21,2 KG
Vidrio frontal (templado)	3.2mm	3.2mm	
Marco	Aleación de aluminio anodizado	Aleación de aluminio anodizado	Aleación de aluminio anodizado
Salida			
Tipo de cable	$\varnothing = 4 \text{ mm}^2$	$\varnothing = 4 \text{ mm}^2$	$\varnothing = 4 \text{ mm}^2$
Longitudes	$L = 900 \text{ mm}$	$L = 900 \text{ mm}$	$L = 900 \text{ mm}$
Caja de conexiones	PV=JB003 MC4	PV=JB003 MC4	
Coefficientes de temperatura			

CONTINÚA 

Temperatura nominal de operación (TONC)	45±2°C	45±2°C	46°C
Temperatura de operación	-40°C a +85°C	-40°C a 85°C	-40°C a +85°C
Coefficiente de temperatura de (Pm)	-0.39% / °C	-0.39% / °C	-0,45% / K
Coefficiente de temperatura de (Voc)	-0.34% / °C	-0.34% / °C	-0,30% / K
Coefficiente de temperatura de (Ioc)	0.036% / °C	0.035% / °C	0,004% / K
Costo	\$ 375	\$ 320	\$420

Criterios de selección: La decisión de seleccionar el panel fotovoltaico SIMAX SP660-230, se debe a diferentes motivos como son: el precio, por lo que resulta ventajoso utilizar este tipo de paneles para uso doméstico. Los paneles fotovoltaicos poli cristalinos poseen más desventajas que los monocristalinos, pero en este caso cuenta con las características técnicas necesarias para el funcionamiento del sistema, como también, un punto importante a tomar, fue la facilidad y costo en el mercado ecuatoriano. Para mayor información acerca del panel solar ver anexo A-1.

A. Determinación del número de paneles

Características del panel

Panel Solar SIMAX 230 W

V_{oc} = voltaje de circuito abierto

V_{mp} = voltaje a potencia pico

I_{cc} = corriente de corto circuito

I_{mp} = corriente a potencia pico

η = eficiencia

$V_{oc} = 36.5 V$

$$V_{mp} = 30 \text{ V}$$

$$I_{cc} = 8.56 \text{ A}$$

$$I_{mp} = 7.67 \text{ A}$$

$$\eta = 14.3 \%$$

Parámetros de Temperatura

TONC = temperatura de operación natural de célula

CCT – I_{sc} = coeficiente de temperatura de corriente de corto circuito

CCT – V_{oc} = coeficiente de temperatura de voltaje de circuito abierto

CCT – P_{máx} = coeficiente de temperatura de potencia máxima

$$TONC = 45 \pm 2^\circ\text{C}$$

$$CCT - I_{sc} = 0.035\%/^\circ\text{C}$$

$$CCT - V_{oc} = -0.34\%/^\circ\text{C}$$

$$CCT - P_{máx} = -0.39\%/^\circ\text{C}$$

Valores para el diseño

V_{máx} = voltaje máximo

I_{máx} = corriente máxima

T_{operación} = temperatura de operación

$$V_{máx} = 1000 \text{ V}$$

$$I_{máx} = 10 \text{ A}$$

$$T_{operación} = -40^\circ\text{C a } 85^\circ\text{C}$$

Números de Paneles

$$P_{cs} = \frac{0.23 \text{ Kw}}{0.9} = 0.255 \text{ Kw} \quad \text{Ec. (14)}$$

$$\#P = \frac{P_{cs}}{P_{mp}} \quad \text{Ec. (15)}$$

$$\#P = \frac{0.255 \text{ Kw}}{0.23 \text{ Kw}} = 1.1 \text{ paneles} \therefore 1 \text{ panel}$$

$$A = 1.44 \text{ m}^2 * 1 = 1.44 \text{ m}^2$$

Temperatura-Lugar

$T_{a_{\text{máx}}}$ = temperatura ambiente máximo

$T_{a_{\text{mín}}}$ = temperatura ambiente mínimo

T_p = temperatura del panel

T_a = temperatura ambiente

$TONC$ = temperatura de operación natural de célula

I = irradiación

$$\text{Para Latacunga} \begin{cases} T_{a_{\text{máx}}} = 25^\circ\text{C} \\ T_{a_{\text{mín}}} = 5^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$\text{Temp. Panel} = T_p = T_a + \frac{(TONC - 20) I}{800} \quad \text{Ec. (16)}$$

$$T_{p_{\text{máx}}} = 25 + \frac{45 - 20}{800} (1100) = 59.37^\circ\text{C}$$

$$T_{p_{\text{mín}}} = 5 + \frac{45 - 20}{800} (100) = 8.12^\circ\text{C}$$

Para encontrar $V_{máx_{mp}}$

$V_{máx_{mp}}$ = voltaje máximo a potencia pico

$\Delta T = \text{diferencial de temperatura}$

$\Delta V = \text{diferencial de voltaje}$

$$\frac{\delta V_{oc}}{\delta T} = \frac{\delta V_{mp}}{\delta T} = 30V * 0.34\%/^{\circ}C * 1/100\% = 0.102V/^{\circ}C$$

$$\begin{array}{cc} 25^{\circ}C & 29.5V \\ 8.12^{\circ}C & X \end{array}$$

$$\Delta T = 16.88^{\circ}C$$

$$\Delta V = \frac{\delta V_{oc}}{\delta T} * \Delta T \quad \text{Ec. (17)}$$

$$\Delta V = \frac{0.102 V}{^{\circ}C} * 16.88^{\circ}C = 1.722 V$$

$$V_{m\acute{a}x_{mp}} = V_{mp} + \Delta V \quad \text{Ec. (18)}$$

$$V_{m\acute{a}x_{mp}} = 30 V + 1.722 V = 31.722 V$$

Para encontrar $V_{m\acute{i}n_{mp}}$

$V_{m\acute{i}n_{mp}} = \text{voltaje m\acute{i}nimo a potencia pico}$

$$\begin{array}{cc} 25^{\circ}C & 29.5 V \\ 59.37^{\circ}C & X \end{array}$$

$$\Delta T = 34.37^{\circ}C$$

$$\Delta V = \frac{\delta V_{oc}}{\delta T} * \Delta T$$

$$\Delta V = \frac{0.102V}{^{\circ}C} * 34.37^{\circ}C = 3.506 V$$

$$V_{m\acute{i}n_{mp}} = 30 V - 3.506 V = 26.49 V$$

Voltaje M\acute{a}ximo del Panel Solar

$V_{oc_{m\acute{a}x}} = \text{voltaje m\acute{a}ximo de circuito abierto}$

$$\frac{\delta V_{oc}}{\delta T} = \frac{\delta V_{mp}}{\delta T} = 0.34 V$$

$$\Delta V_{oc} = 36.5 V * \frac{0.34\%}{^{\circ}C} * \frac{1}{100\%}$$

$$\Delta V_{oc} = 0.124 V$$

$$\begin{array}{cc} 25^{\circ}C & 29.5 V \\ 8.12^{\circ}C & X \end{array}$$

$$\Delta T = 16.88^{\circ}C$$

$$\rightarrow \Delta V = \Delta T * \Delta V_{oc}$$

$$\Delta V = 16.88^{\circ}C * 0.124 V = 2.093 V$$

$$V_{oc_{m\acute{a}x}} = V_{oc} + \Delta V \quad \text{Ec. (19)}$$

$$V_{oc_{m\acute{a}x}} = 36.5 V + 2.093 V = 38.539 V$$

3.19. Dimensionamiento y selecci3n del microinversor

3.19.1. Dimensionamiento

P_I = potencia del inversor

P_{CS} = Potencia del campo solar = 230 W

M\acute{a}x tensi3n = m\acute{a}xima tensi3n

Rango de tensi3n MPP = rango de tensi3n del punto de m\acute{a}xima potencia

$$P_I \geq 0,9P_{CS} \quad \text{Ec. (20)}$$

$$P_I \geq 0,9 * 230 W$$

$$P_I \geq 207 W$$

De acuerdo con el par\acute{a}metro calculado de la potencia del inversor, establece que se debe seleccionar uno que sea mayor a 207 W, por lo que se determina una potencia de 240 W ya que en este valor de potencia existe variedad y disponibilidad en el mercado.

$$\text{M\acute{a}x tensi3n} = 240 V$$

$$\text{Rango de tensi3n MPP} = 23 V \dots 32 V$$

A. Cálculo del número de paneles

Paneles en Serie

N_{ps} = número de paneles en serie

$V_{máx_{mp}}$ = voltaje máximo a potencia pico

$V_{máx_{inversor}}$ = voltaje máximo del inversor

$V_{mín_{mp}}$ = voltaje mínimo a potencia pico

$V_{mín_{inversor}}$ = voltaje mínimo del inversor

$$N_{ps} * V_{máx_{mp}} \leq V_{máx_{inversor}} \quad \text{Ec. (21)}$$

$$N_{ps} * 31.722 \text{ V} \leq 32 \text{ V}$$

$$N_{ps} \leq 1.009$$

$$N_{ps} * V_{mín_{mp}} \geq V_{mín_{inversor}} \quad \text{Ec. (22)}$$

$$N_{ps} * 26.49 \text{ V} \geq 23 \text{ V}$$

$$N_{ps} \geq 0.87 = 1$$

Paneles en Paralelo

N_{hp} = número de hileras en paralelo

N_{Tp} = número total de paneles

N_{ps} = número de paneles en serie

$$N_{hp} = \frac{N_{Tp}}{N_{ps}} \quad \text{Ec. (23)}$$

$$N_{hp} = \frac{1}{1} = 1$$



3.19.2. Selección del microinversor

Para la selección del microinversor se parte directamente en el valor de la potencia instalada, de la calidad de onda que se disponga, de la frecuencia, y del voltaje que se dispone a la salida del generador fotovoltaico, en términos más generales dependerá de las necesidades y accesibilidad.

Se presenta tipos de microinversores disponibles en el mercado:

Tabla 12

Matriz de decisión del Microinversor

	Microinversor iEnergy 260	SUN BOY 240-US-99-10
Entrada DC		
Máxima entrada de Potencia	260 W	300 W
Potencia nominal de entrada	240 W	240 W
Rango de seguimiento de potencia máxima	25-50 V	23.0 – 32.0 V
Rango de operación	25-58 V	23.0 – 32.0 V
Máxima corriente de DC en corto circuito	12 A	9.5 A
Máxima corriente de entrada	10 A	8.5 A
Salida AC		
Potencia recomendada de salida	230 W	240 W
Corriente nominal de salida	0.92 A	1 A
Rango de operación de voltaje	230V/184-264.5 V	211/240/264 [V]
Rango de operación de frecuencia	57.5 Hz/60-61.5 Hz	59.3/60.0/60.5 Hz
Factor de potencia	>0.95	1
Distorsión armónica total	<3%	<3%
Eficiencia		
CEC eficiencia ponderada	93%	95.9%

CONTINÚA 

Eficiencia del inversor	94%	96%
Dados mecánicos		
Rango de temperatura ambiente	-40°C a +65 °C	-40°C a +65°C
Rango de operación de temperatura interna	-40°C a +85 °C	-40°C a +90°C
Dimensiones cm	23.2*20.1*4.31	188.4*218.4*43.7
Peso	1.6 kg	1.6 kg
Enfriamiento	Convección natural	Convección natural
Grado de protección	IP66	NEMA 4X
Características		
Comunicación	PLC	Sunny PORTAL
Garantía	25 años	20 años
Costo	285.44	180

Criterios de selección

Mediante un análisis, se selecciona el microinversor Sunny Boy 240 con una potencia de 240 W, la potencia del inversor es mayor que la del campo solar, esto se justifica por la disponibilidad de potencias para microinversores existentes en el mercado, este parámetro de variación de potencia no afecta al correcto funcionamiento de este equipo.

Además, para la conexión del inversor con la red pública se requiere de una Sunny Multigate que constituye en el punto de conexión y además es una unidad de comunicación. El Sunny Multigate se conecta entre el inversor y la red pública para inyectar en la red la corriente alterna recogida por el inversor que esta interconectado con el módulo fotovoltaico. Otra de las aplicaciones que presenta el Sunny Multigate es que permite un crecimiento de la planta, esto quiere decir que se puede conectar hasta 12 microinversores que se pueden monitorear independientemente. Para mayor información acerca del microinversor y Sunny Multigate, ver el anexo A-2.

Tabla 13

Datos técnicos del Sunny Multigate

Sunny Multigate			
Parámetro en [Ac]	Máxima	Nominal	Mínima

CONTINÚA 

Frecuencia [Hz]	59.5	60	60.5
Voltaje [V]	211	240	264
Corriente [A]		12	
Potencia [W]	2880		
Temperatura de operación	+45°C		-40°C
Factor de potencia		1	

Fuente: (Proviento, 2015)

3.20. Selección de la protección de sobrecorrientes

Para la selección de la protección eléctrica del módulo didáctico de conexión a la red se realiza en función a la recomendación que hace el fabricante, en este caso es un disyuntor de enlace de 12 A- 220 V.

3.21. Selección del contador de energía

La selección del contador de energía se realiza en base a las características obtenidas previamente con la selección del microinversor, y de la Multigate, para esto se utiliza los parámetros eléctricos de salida de los mismo, en cuanto a voltaje, frecuencia y corriente.

Tabla 14



Parámetros de selección

N°	Parámetro en [Ac]	Máxima	Nominal	Mínima
1	Frecuencia [Hz]	59.5	60	60.5
2	Voltaje [V]	211	240	264
3	Corriente [A]		12	
4	Potencia [W]	2880		

Mediante estas magnitudes eléctricas, se toma la decisión de elegir el contador de energía que sea compatible con estos datos y además con la marca del microinversor. Para lo cual se presenta la matriz de decisión para la selección del contador de energía.

Tabla 15

Matriz de decisión para el contador de energía

	CDP-0	OMNIPOWER MONOFASICO
		
Tensión Nominal	230VAC \pm 10%	230 VAC -20% +15%
Frecuencia	50-60 Hz	60 \pm 5 Hz
Consumo	6 W	0,2 W
Aplicable para instalaciones fotovoltaicas con inyección a la red	Si	No
Monitorización y registro del balance energético	Si	No
Bidireccional	Si	Si
Comunicación	Ethernet, RS-485, RS-232, RS-422.	RS-485, RS-232, M-Bus,GSM/GPRS
Clase de protección	IP 54	IP 54
°T de operación	-20°C a +70°C	-40°C a +70°C
Peso	250g	1110 g
Costo	\$850	\$1200

Criterios de selección

Se selecciona el contador de energía CDP-0 ya que una de sus aplicaciones más importantes es para instalaciones fotovoltaicas con regulación de inyección a la red, el puerto de comunicación ethernet ya que con este se puede adquirir los datos que registre el equipo al momento de realizar las pruebas, además influyen parámetros de peso y costo. Para mayor información acerca del CDP-0, ver anexo A-3.

3.22. Selección de TC

En vista que se selecciona el contador de energía CDP-0 este necesita de transformadores de corriente para cuantificar la energía tanto de la red, de la carga y del sistema fotovoltaico.

Tabla 16

Transformador de corriente



TC CAMSCO	
Relación de transformación	100/5 A
Voltaje Máximo	0.613 KV
Frecuencia	60 Hz
Máxima potencia Aparente	2.6 VA

Criterios de selección**3.23. Selección del pirómetro de radiación**

Para la evaluación del recurso solar se presenta dos alternativas, las cuales se detallan a continuación

Tabla 17

Matriz de decisión para el Piranómetro de radiación

	SP-110	LP02-LI19
		
Fuente de alimentación	5-36 V DC	12 VDC
Sensibilidad	0,2 mV por m^2	$15 \times 10^{-6} \text{ V}/(\text{W}/m^2)$
Factor de Calibración	5 Wm^2 por Mv	<1,8% (k=2)
Incertidumbre de calibración	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$
Respetabilidad de la medida	<1%	<1%
Sin estabilidad (deriva a largo plazo)	<2% por año	<2% por año
No Linealidad	<1% superior de 1750 Wm^2	< $\pm 1\%$
Tiempo de respuesta	<1 ms	<1 ms
Campo de visión	180°	180°
Rango espectral	360 nm a 1200 nm	285 a $3000 \times 10^{-9} \text{ m}$
Respuesta Temperatura	$-0,04 \pm 12,04\%$ para $^\circ\text{C}$	< $\pm 3\%$ (-10 a $+40 \text{ }^\circ\text{C}$)
Ambiente de Trabajo	-40°C a $+70^\circ\text{C}$ 0 a 100% de humedad relativa	-40°C a $+80^\circ\text{C}$

CONTINÚA 

Data Logger	No	Si
Peso	90g	0,5Kg
Costo	\$450	\$1200

Crterios de seleccin

Para realizar la evaluacin del recurso solar, se selecciona el piranmetro de marca apogee Instruments modelo SP-110, por su gran variedad de servicios en cuanto a la mediacin de radiacin solar en superficies planas este tiene incorporado un fotodiodo que mide la radiacin UVA y UVB combinada. (SENSOVANT) (Ver anexo A-4)

Entre las aplicaciones de este tipo de sensores para sistemas fotovoltaicos tenemos:

- Evaluacin de recursos para plantas solares fotovoltaicas
- Validacin y eficiencia de paneles fotovoltaicos

3.24. Dimensionamiento y seleccin de conductores

A. Conductor de CC

En la seccin o el calibre del conductor se debe tomar en cuenta tanto la ampacidad como tambin la caida de voltaje, para lo cual se expresa la siguiente ecuacin:

$$S = \frac{2 * L * I}{56 * \Delta V} \quad \text{Ec. (24)}$$

Donde:

S= Seccin transversal del conductor en mm^2 .

L= Longitud del conductor ms largo en metros.

I= Intensidad de corriente que circula por los arreglos[A]

ΔV = Caída de voltaje máxima permitida[V]

56=constante del cobre

Caída de tensin entre paneles e inversor: 1,5%.

Caída de tensión entre inversor y carga: 1,5%.

Entonces; la distancia entre el panel y el inversor 10 m.

Criterio de ampacidad, el conductor debe soportar una corriente 1.25 veces más la corriente cortocircuito, por lo que tenemos la ecuación

$$I = I_{sc} * 1.25 \quad \text{Ec. (25)}$$

Donde:

I_{sc} = corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico.

$$I = 8.56 \text{ A} * 1.25$$

$$I = 10.7 \text{ A}$$

$$\rightarrow S = \frac{2 * 10 * 10.7}{56 * (30 * 0.015)}$$

$$S = 8.49 \text{ mm}^2$$

Tabla 18

Conductores de Cobre

Conductores de Cu	
AWG	mm^2
18	0,75
16	1,5
14	2,5
12	4
10	6
8	10
6	16
4	25
2	35
1/0	55
2/0	70
3/0	95

Fuente (Solar, 2010)

Como se puede apreciar en la tabla que muestra los calibres de los conductores con la sección transversal, el dato calculado debe corresponder a uno de estos valores ya sea igual o mayor, dependiendo de la disponibilidad

en el mercado y tomando en cuenta las consideraciones de temperatura se selecciona el conductor # 10 AWG.

Conductor de CA

Para la selección del conductor se toma en cuenta que es un sistema monofásico a 220 VAC, de igual manera que en los conductores de CC se debe tener en cuenta criterios de ampacidad y caída de tensión, se representa mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 * L * I * \cos\phi}{56 * \Delta V} \quad \text{Ec. (26)}$$

Donde:

$\cos\phi$ =factor de potencia

La distancia entre inversor y la red 4 m.

Criterio de ampacidad, el conductor debe soportar 1.5 veces más la corriente máxima de los inversores en la parte de alterna

$$I = I_{inv} * 1.5 \quad \text{Ec. (27)}$$

Donde:

I_{inv} = corriente del inversor en el lado de alterna

$$I = 1 A * 1,5$$

$$I = 1.5 A$$

$$\rightarrow S = \frac{2 * 10 * 1.5}{56 * (220 * 0.015)}$$

$$S = 0,16 \text{ mm}^2$$

Según el manual de instrucciones de instalación recomienda la sección del conductor entre la Multigate y la red pública de 14 AWG a 10 AWG, por lo cual, con el valor obtenido en el cálculo, tomando las consideraciones

necesarias se selecciona el calibre de conductor adecuado en este caso es #16 AWG.

3.25. Configuración del módulo didáctico

Mediante la selección de cada uno de los equipos respectivamente, la figura 60 representa la configuración básica del sistema fotovoltaico de conexión a la red, demostrando el objetivo general del proyecto, pero también permite interpretar el papel que cumplen los elementos en el sistema. De este modo se obtuvo un módulo didáctico de un sistema fotovoltaico de conexión a la red con adquisición de datos para realizar la gestión del recurso energético.

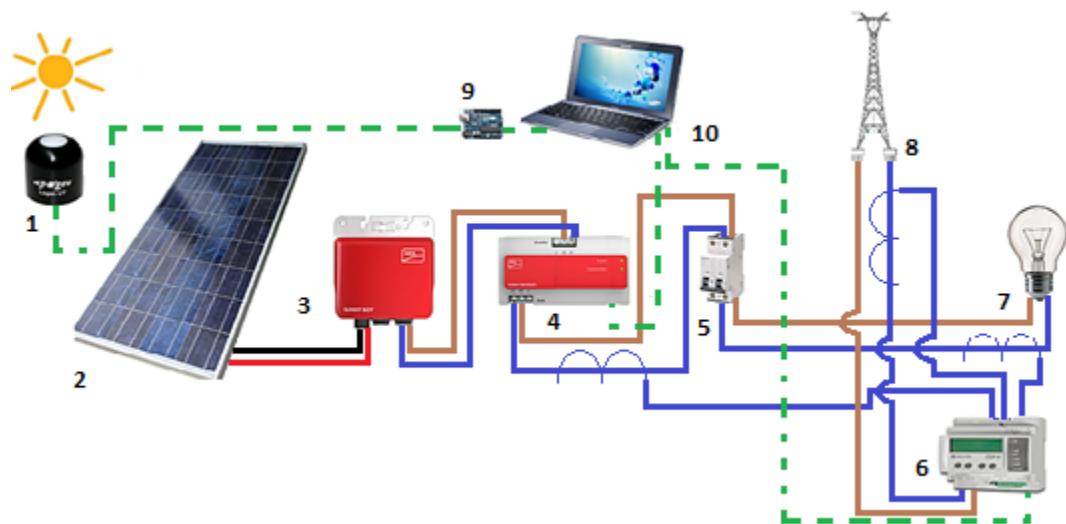


Figura 60 Configuración del módulo didáctico

1. Piranómetro de radiación Apogee SP 110.
2. Panel Fotovoltaico SIMAX SP660-230.
3. Microinversor Sunny Boy 240-US.
4. Sunny Multigate.
5. Breaker 12A.
6. Contador dinámico de potencia CDP-0.
7. Carga
8. Red eléctrica
9. Acondicionamiento de irradiación.
10. PC
11. Transformadores de corriente.

3.26. Visualización y Monitoreo de datos

Para la visualización como para el monitoreo de los datos, cada equipo lo realizará de forma independiente. Para lo cual se presentan cuatro sistemas diferentes, Sunny Explorer y Sunny Portal que evalúan la energía producida por el GF, CDP-0 (contador dinámico de potencia) evalúa y administra tanto la energía producida por el GF, la red y la carga (consumo), y como último tenemos el sistema de evaluación del recurso solar.

3.26.1. Sunny Explorer

Sunny Explorer es una herramienta propia de los equipos SMA en este caso del Sunny Multigate, este software permite el monitoreo en tiempo real de la planta fotovoltaica mostrando el estado de la misma. El protocolo de comunicación que utiliza es Red de Área Local, (LAN).

A continuación, se muestra la interfaz que presenta Sunny Explorer al usuario, con sus diferentes aplicaciones.

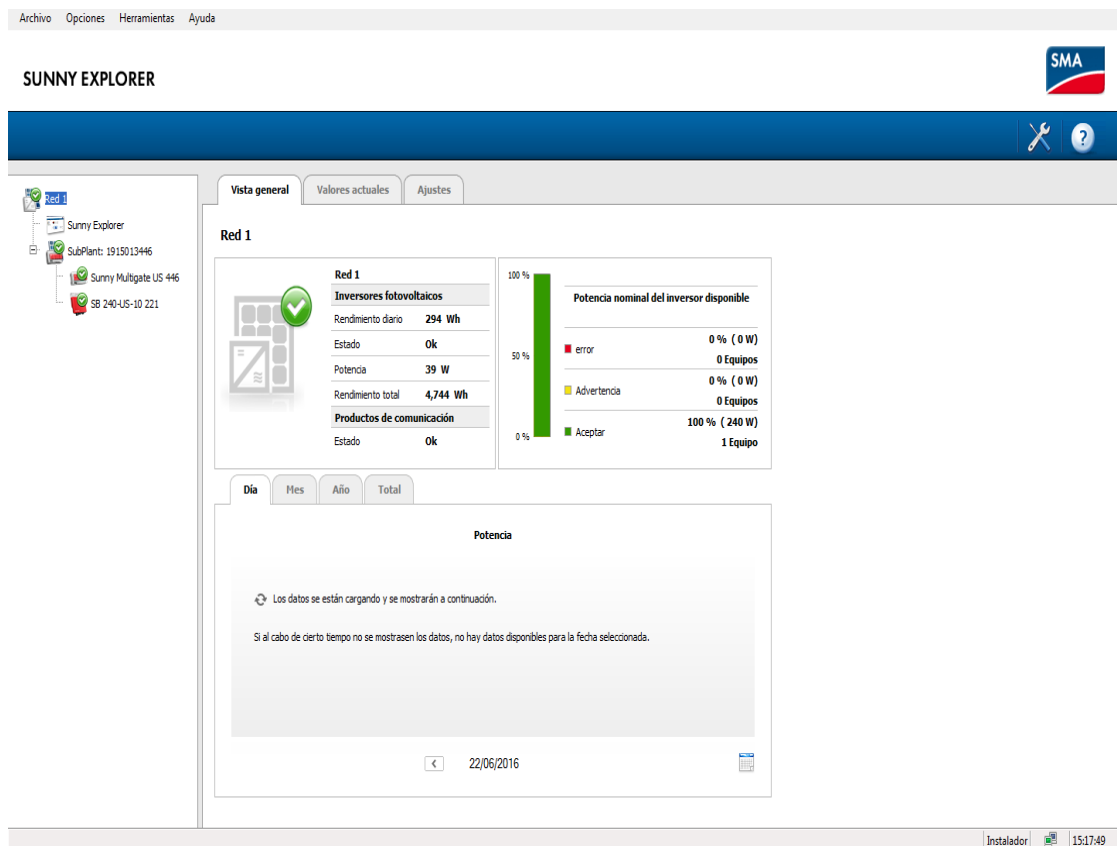


Figura 61 Sunny Explorer

- Muestra el estado real de la planta y las condiciones en las que se encuentra, presentando el rendimiento diario, el estado, la potencia, y el rendimiento total, además el estado en el que se encuentran los protocolos de comunicación.
- También se puede apreciar dos iconos que representen Sunny Boy y el Sunny Multigate respectivamente, estos permiten ver el estado actual de cada uno de estos y además realizar modificaciones si fuera el caso.
- Permite la extracción de datos que generó la planta fotovoltaica en formato Excel.

3.26.2. Sunny Portal

El Sunny Portal al igual que el Sunny Explorer es una herramienta propia de los equipos SMA, pero a diferencia este es un portal de internet que sirve exclusivamente para monitorizar las instalaciones, así como para poderlas visualizar y presentar datos de las mismas. Esta herramienta posee similares características a las del Sunny Explorer, la diferencia es que esta posee la función del Webconnected, es decir que, por medio de esta plataforma se puede monitorear la planta desde cualquier parte del mundo por medio de una conexión a internet. El acceso a esta está determinado por un usuario y una contraseña.

A continuación, se muestra la interfaz que Sunny Portal provee al usuario, con sus diferentes aplicaciones.

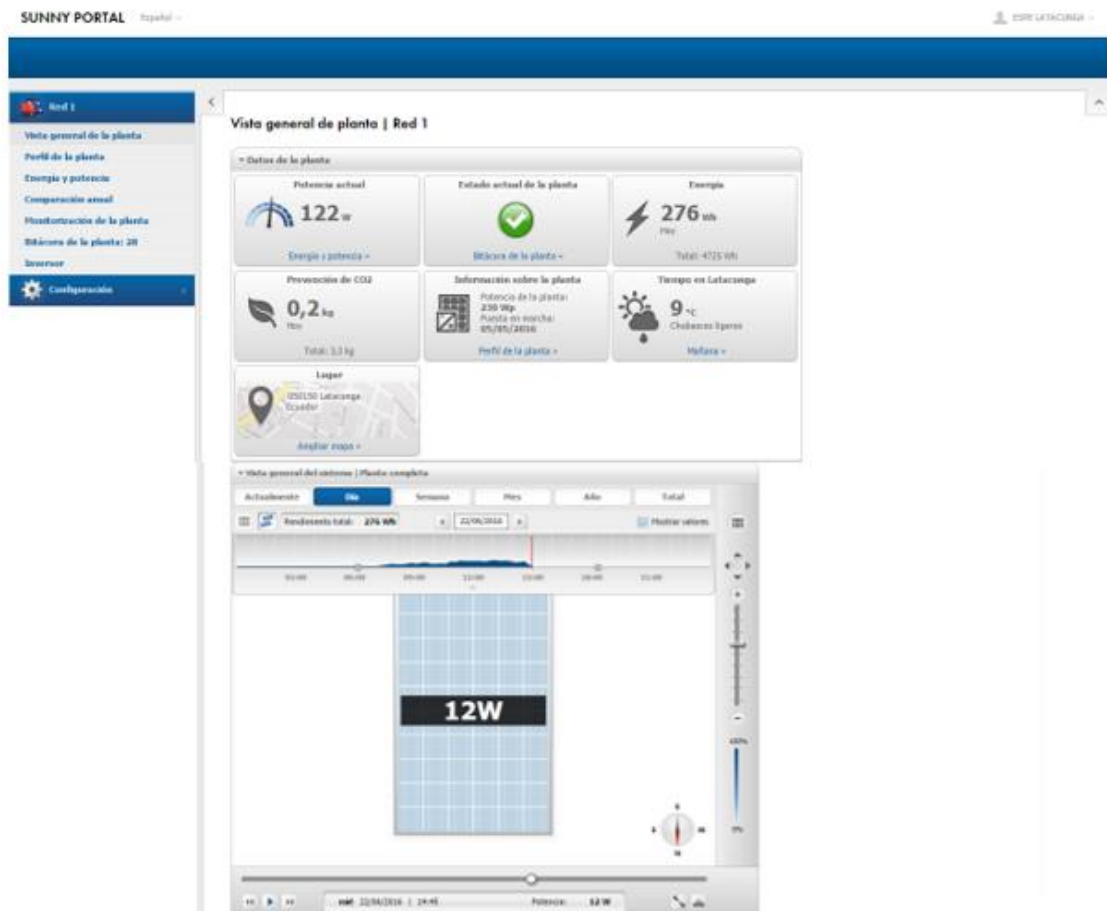


Figura 62 Interfaz Sunny Portal

3.26.3. CDP-0

La visualización de datos que presenta el contador dinámico de potencia, se puede apreciar de dos formas distintas, una de ellas es directamente por la pantalla del CDP-0, y otra por medio de los puertos de comunicación que este presenta, el contador bidireccional también posee un enlace web la misma que permite visualizar la potencia del generador, consumida por la carga y la potencia consume de la red o inyecta a la red pública, también permite el monitoreo de las magnitudes de corriente, voltaje, entre otros.

A continuación, se muestra la interfaz que el CDP-0 provee al usuario, con sus diferentes aplicaciones.

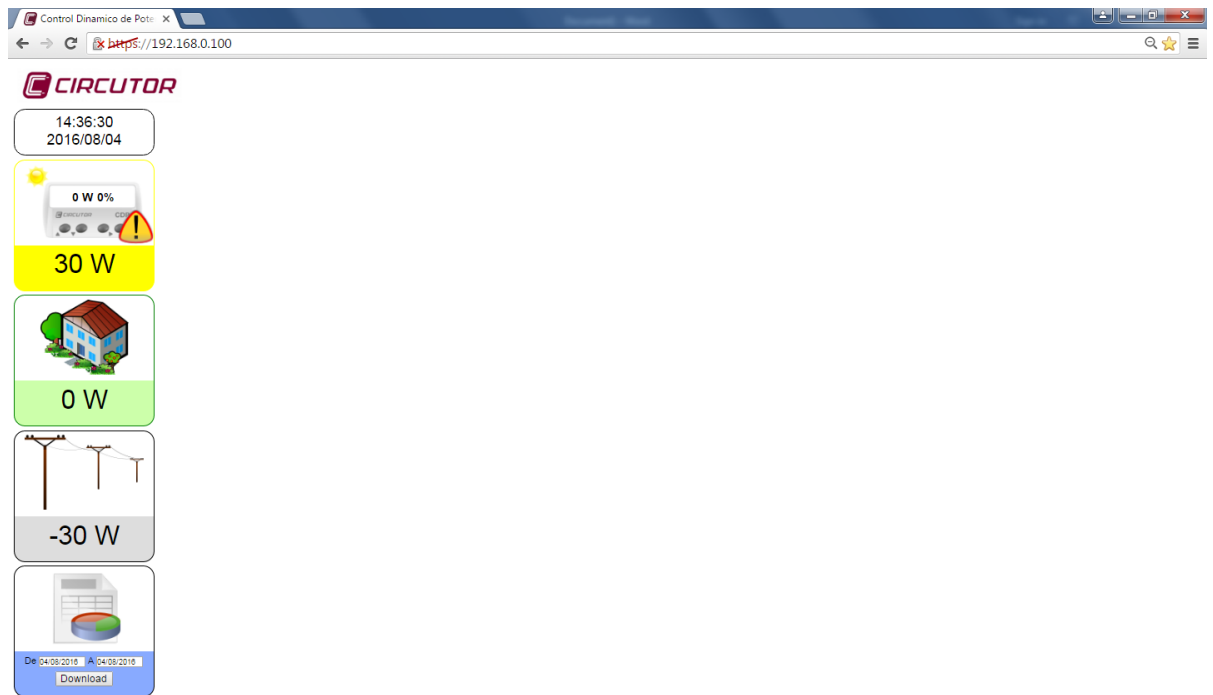


Figura 63 Interfaz CDP-0

3.26.4. Evaluación del recurso Solar

Para evaluar los datos que provee el sensor de radiación apogee SP-110 se utiliza el software Labview, ya que este presenta una interfaz amigable con el usuario y uno de los lenguajes de programación más completos.

La adquisición de datos se realiza con intervalos de un segundo, y se guarda únicamente un valor que es promediado cada 10 segundos, para mostrar los datos al usuario se utiliza el software Excel.

Para el desarrollo de este sistema se utiliza la señal amplificada del sensor de radiación, la misma que llega hasta una plataforma de hardware (Arduino UNO, y posteriormente al ordenador en donde se realiza la programación en Labview, mediante la programación es posible administrar la señal y poder mostrar al usuario mediante pantallas los resultados obtenidos. A continuación, se muestra el diagrama funcional de la programación que se realizó en el software de LabVIEW, ver anexo G.

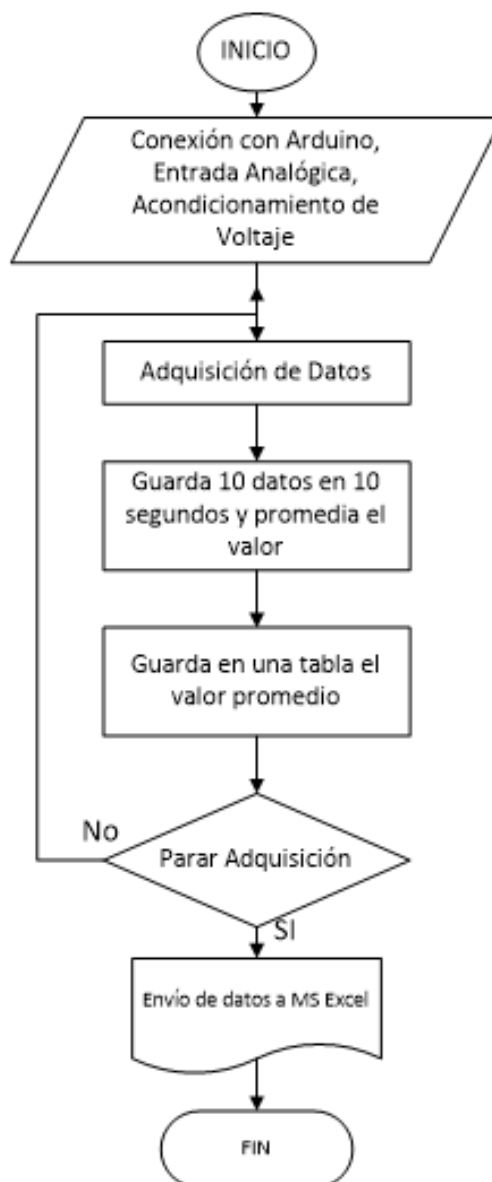


Figura 64 Diagrama funcional

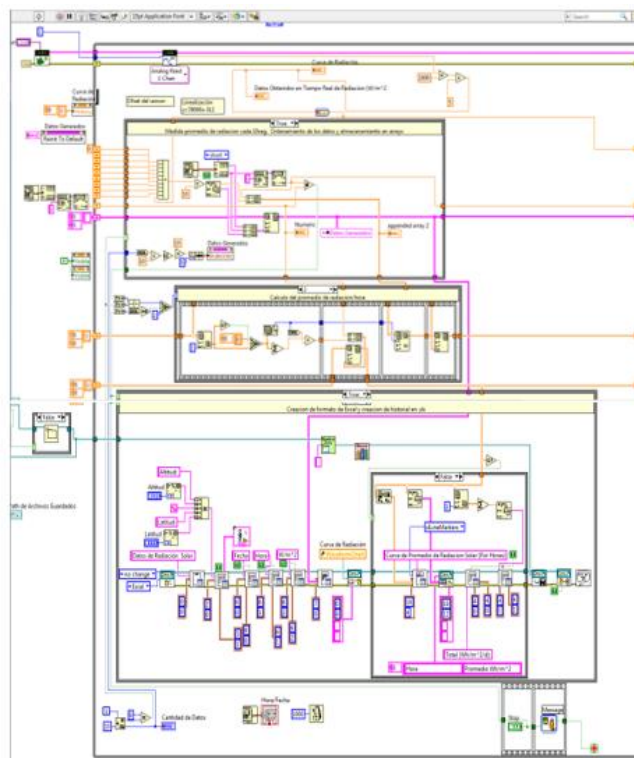


Figura 65 Programación en LabVIEW

Para mostrar los datos obtenidos se diseña tres pantallas, en las que se muestra el resultado de la curva de radiación correspondiente a la fecha en la que se realizó la evaluación del recurso solar, la otra al contrario muestra en tiempo real el valor de la radiación y por ultimo una pantalla en la que se puede introducir el lugar de destino donde se desea generar el archivo de Excel, la altitud y latitud y además el puerto que se va a utilizar para el Arduino con el ordenador.



Figura 66 HMI

3.27. Configuración de la red para módulo didáctico.

Para que exista una comunicación óptima y funcional entre los equipos del sistema fotovoltaico se realizará una mini red con cable ethernet mediante un router, esto se observa en el mapa conceptual, entonces se logrará la

comunicación entre todo el sistema mediante la asignación de IP a cada uno de los equipos respectivamente.

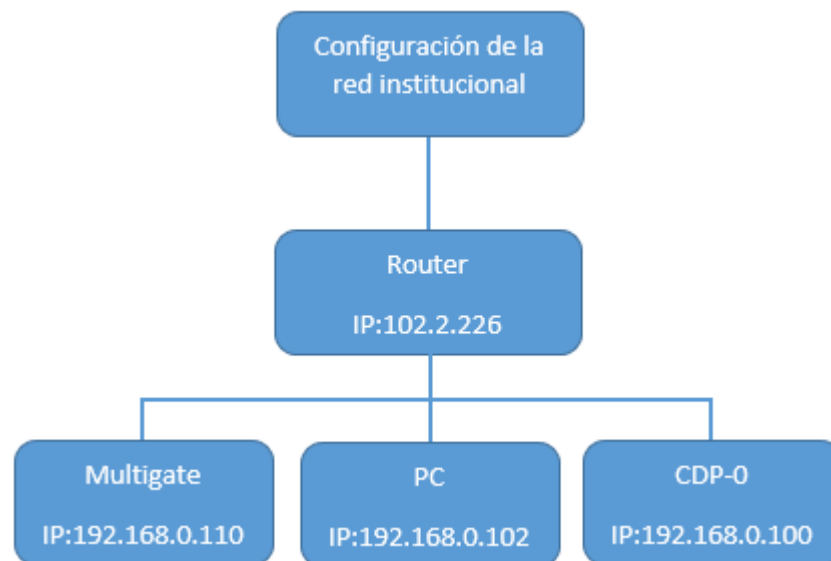


Figura 67 Configuración de la mini red en el módulo didáctico

3.28. Cálculo de la producción de energía anual.

La energía producida por el sistema fotovoltaico en un periodo de un año se estima aproximadamente según la ecuación:

$$E_{ac} = P^* * \frac{G_{efa}}{G_{stc}} * (PR) * (1 - FS) \quad \text{Ec. (28)}$$

Donde:

E_{ac} = Es la energía producida anual (kWh).

P^* = Potencia nominal del generador FV (w).

G_{efa} = Irradiación efectiva anual incidente en el plano del generador (kWh/m²)

G_{stc} = Irradiación en condiciones estándar de medida (1 KW/m² constante).

PR = Eficiencia de la instalación.

FS = Factor de sombras.

Para lo cual se tiene la potencia instalada fotovoltaica corresponde a 230 Wp, el G_{efa} corresponde al resultado del estudio de radiación que brinda el

ARCONEL (Agencia de Control y Regulación de Electricidad). En la cual la ciudad de Latacunga corresponde a la zona IV con un valor promedio de $4800 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ entonces:

$$G_{efa} = 4800 \text{ Wh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día}) * 365 \text{ días del año}$$

$$G_{efa} = 1752 \text{ Kwh}/\text{m}^2$$

Para el rendimiento global del sistema PR, se debe tomar en cuenta las pérdidas energéticas asociadas a la temperatura de operación del generador fotovoltaico y a los rendimientos del inversor. Usualmente el valor de PR oscila entre (0,7 y 0.85).

Tabla 19

Pérdidas en el rendimiento de la instalación.

Estimación de Posibles pérdidas	
Parámetro	Porcentaje
Angulares y espectrales	3
Polvo y suciedad	3-6
Temperatura	5-14
Diferencial entre módulos	2
Interconexión y cableado	3
No seguimiento del PMP y umbrales de arranque	3
Rendimiento de Inversores	6

Fuente: (McGraw-Hill Compaines, 2010)

$$PR = 1 - (\text{Pérdidas Angulares} + \text{Pérdidas por polvo} + \text{Pérdidas de temperatura} + \text{Pérdidas de interconexión y cableado} + \text{Pérdidas por rendimiento de inversores}) \quad \text{Ec. (29)}$$

$$PR = 1 - (0,03 + 0,03 + 0,05 + 0,03 + 0,06)$$

$$PR = 0,8$$

Por la ubicación del generador fotovoltaico no existe ningún tipo de sombras por lo que el $FS = 0$

$$\rightarrow E_{ac} = (0,230 \text{ Kw}) * \frac{1752 \text{ Kwh}/m^2}{1 \text{ Kw}/m^2} * (0,8) * (1 - 0)$$

$$E_{ac} = 322.36 \text{ KWh Anual}$$

3.29. Reducción de toneladas de CO_2 emitidas a la atmósfera

Una de las características más importantes y rentable de la anergia solar es que es limpia y no contamina el medioambiente, por lo que se puede calcular las toneladas de CO_2 que se dejan de emitir a la atmósfera con este tipo de energía mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro de Ton de } CO_2 = EF_{grid,OM} * E_{ac} \quad \text{Ec. (30)}$$

Donde:

$EF_{grid,OM}$ = Factor de emisión de CO_2 .

E_{ac} = Energía producida anual (MWh)

$$\rightarrow \text{Ahorro de Ton de } CO_2 = 0,6629 \text{ tCO}_2 * 0,2233 \text{ MWh Anual}$$

$$\text{Ahorro de Ton de } CO_2 = 0,21 \text{ tCO}_2$$

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

4.1. Construcción de la estación de trabajo y estructura soporte

Para desarrollar la construcción de la estación de trabajo y la estructura soporte se emplea:

- Tubo cuadrado de acero estructural ASTM A36 de 1^{1/2}" y 2".
- Acero laminado de 1.5 mm.
- MDF color gris.
- Acero de transmisión de 1", 2" y 4".
- Platina de 2" * 1/4".
- Herramientas de corte, medida y sujeción.

Para ello se comienza a realizar según las dimensiones establecidas en los planos de diseño.

En los siguientes flujogramas se realizan los detalles requeridos para la construcción estructural del módulo didáctico para el sistema fotovoltaico de conexión a la red, la cual proporciona accesibilidad, comodidad y rigidez de los elementos a utilizar.

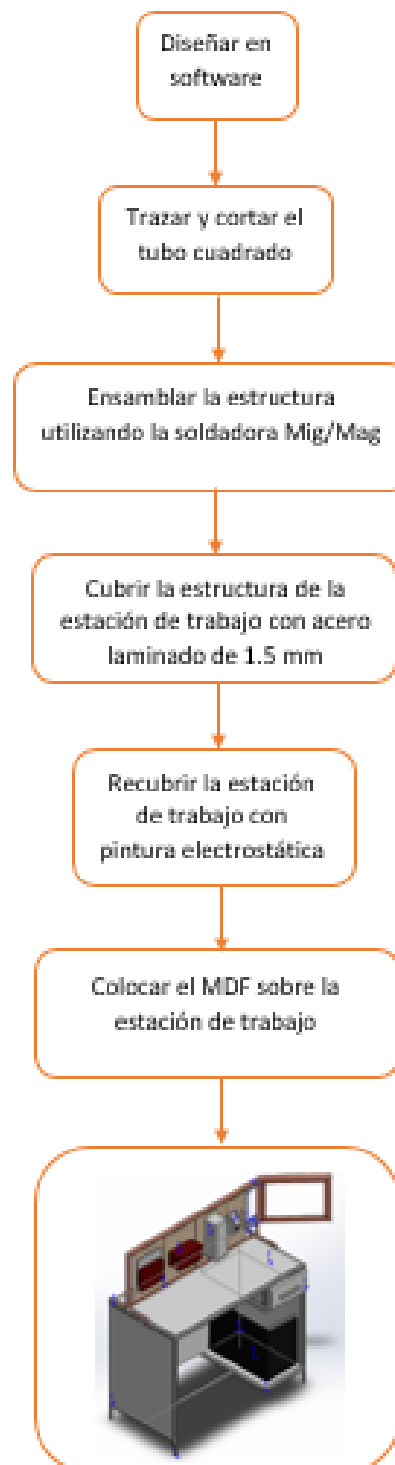


Figura 68 Construcción de la estación de trabajo

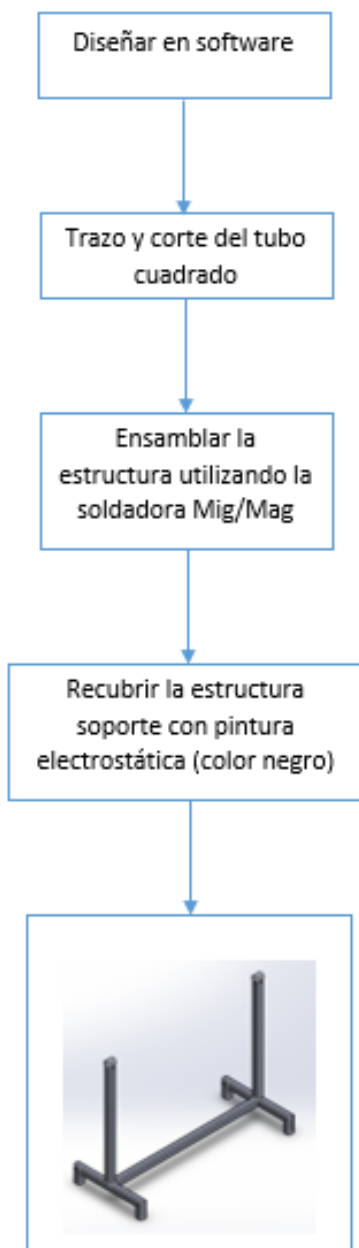


Figura 69 Construcción de la estructura soporte

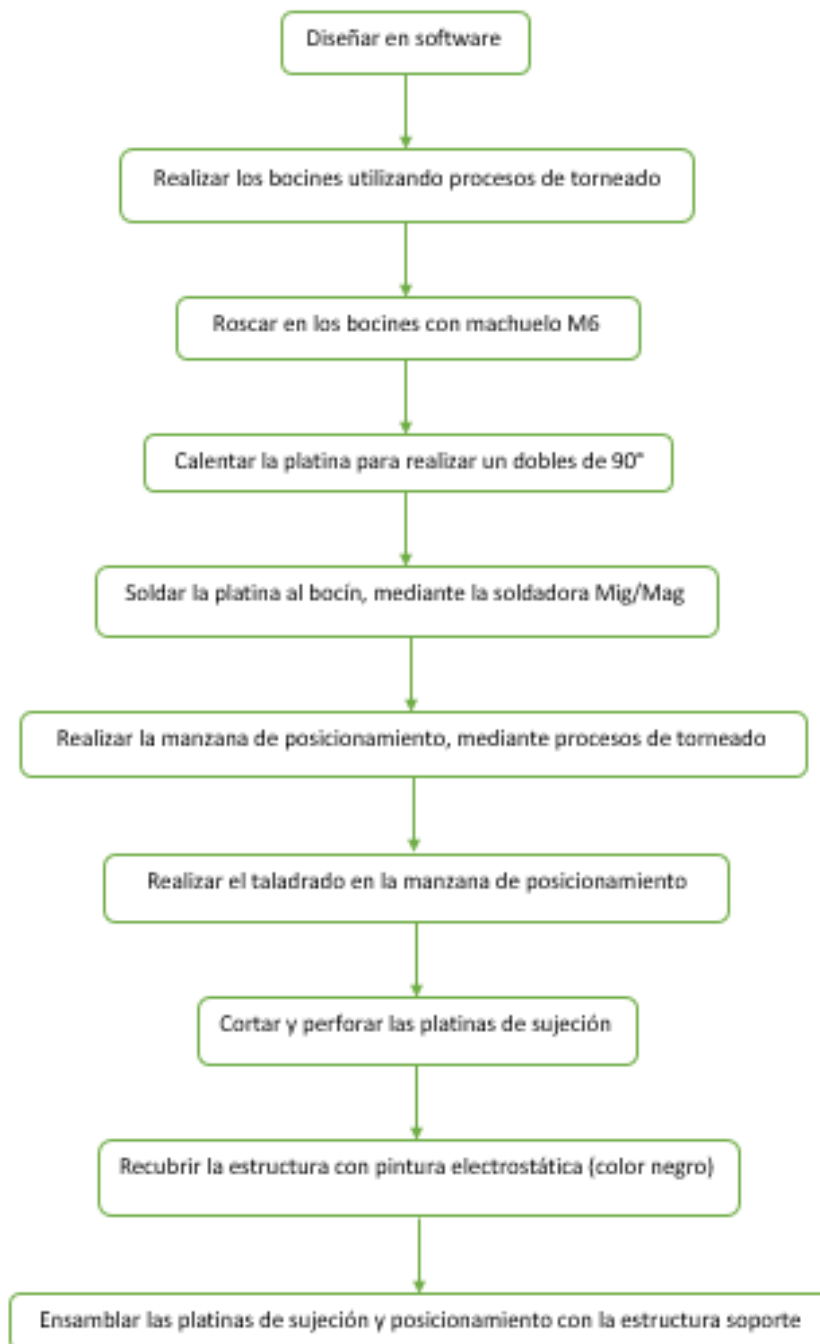


Figura 70 Construcción del mecanismo de sujeción y posicionamiento

4.2. Ensamblaje del Módulo Fotovoltaico



Para la implementación del sistema se utiliza el plano eléctrico que se observa en el anexo C-1, en la siguiente tabla se indica cada uno de los procesos para ensamblar el módulo didáctico de conexión a la red.

Para realizar el montaje de los equipos se emplea:

- Generador fotovoltaico.
- Microinversor Sunny Boy 240 US
- Sunny Multigate
- CDP-0
- Transformadores de corriente
- Cable AWG #10 (3 hilos revestido)
- Cable AWG #14
- Celerón laminado de 4mm de espesor.
- Pernos de Sujeción


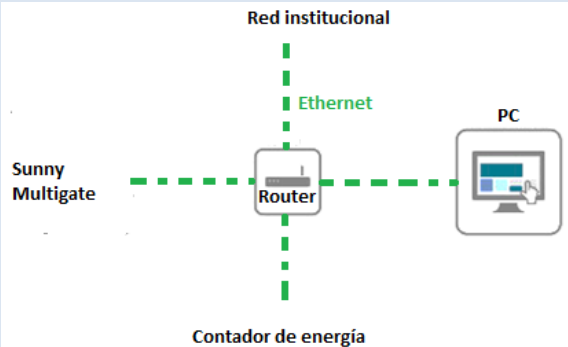
Tabla 20

Ensamblaje del módulo didáctico

Proceso	Imagen
Ubicar el módulo Fotovoltaico sobre la estructura soporte	
Realizar los agujeros a las placas de Celeron	
Acoplar los distintos módulos sobre las láminas de celerón	

CONTINÚA



<p>Montar todos los módulos sobre la estación de trabajo</p>	
<p>Montar los equipos adicionales (CPU, Monitor, Mouse, Router)</p>	

4.3. Implementación de los sistemas.



4.4. Sunny Explorer

Para la obtención del Sunny Explorer se lo obtiene del portal SMA, cabe mencionar que este software es gratis y se acopla directamente con los equipos SMA mediante ethernet, la dirección web en la que se obtiene el software es: <https://www.sma.de/es/service/descargas.html>

Proceso de instalación y configuración del software

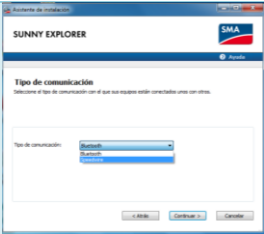
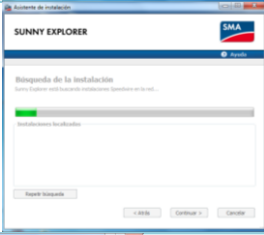
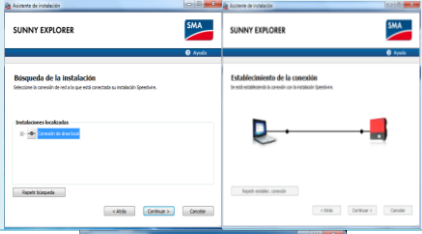
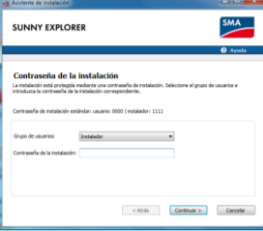
Tabla 21

Instalación y puesta en marcha del Sunny Explorer

Proceso	Imagen
<p>Se ejecuta el instalador como administrador y presionar en siguiente.</p>	
<p>Una vez en el asistente de instalación seleccionar, crear nueva instalación, se asigna un nombre y se direcciona el lugar en donde se quiere que se generen los archivos. Presionar siguiente</p>	

CONTINÚA



<p>Seleccionar el tipo de conexión del Equipo SMA con la PC en este caso Speedwire, presionar continuar.</p>	
<p>Esperar mientras el programa reconozca al equipo SMA</p>	
<p>Una vez que el programa haya reconocido la instalación, presionar continuar. Y se espera mientras se establece la conexión.</p>	
<p>Para establecer el tipo de instalación que se desea, seleccionar instalador o usuario, para este caso se selecciona instalador debido a sus aplicaciones, y el software asigna una contraseña, presionar continuar.</p>	

Para tener más información acerca del funcionamiento y aplicaciones del Sunny Explorer se recomienda ver el Anexo A-5


4.5. Sunny Portal

Para utilizar la función Webconnect es necesario registrar la planta en el sitio web de SMA, por medio de un correo electrónico, ahí se configura la planta con los datos de ubicación, datos del administrador de la planta y contraseña.

Antes de iniciar con el proceso de configuración hay que tener en cuenta, que el tipo de conexión a internet debe ser LAN, y además se le debe asignar un IP fijo al equipo SMA, esto permitirá que no se manifiesten errores al momento de la configuración en el portal Web.

Tabla 22

Configuración del portal web para el Sunny Portal

Proceso	Imagen
Ingresar al sitio Web del Sunny Portal y seleccionar en registrar.	
En la ventana siguiente pulsar next.	<p>Welcome to the Plant Setup Assistant</p> <p>The Plant Setup Assistant will guide you step by step through the procedure for registration and detection of your plant with:</p> <ul style="list-style-type: none"> Sunny Home Manager Inverters with WebConnect Technology <p>The Plant Setup Assistant will also help you if you wish to add devices to your Sunny Portal plant or if you have replaced devices in your plant. Use the [Next] and [Back] buttons in the Plant Setup Assistant to navigate between the pages.</p> <p>Information: Registration of Sunny Webbox plants via the device web interface.</p>
Seleccionar la opción ya estoy registrado en Sunny Portal, y se introduce la dirección del correo electrónico con su respectiva clave, pulsar next.	<p>User Registration</p> <p>If you are not already registered in Sunny Portal, select "I am not yet registered".</p> <p><input type="radio"/> I am not yet registered.</p> <p><input checked="" type="radio"/> I am already registered in Sunny Portal.</p> <p>michael.mahon Password</p> <p>Forgotten Password?</p>
Ingresar el nombre que desea dar a la planta en este caso es Red 1 y la contraseña(esta debe coincidir con la del ingreso al Sunny Explorer en modo instalador), pulsar next.	<p>Create a new plant</p> <p>Plant Properties</p> <p>Plant Name: * Solar Acad </p> <p>Plant Password: *</p> <p>Repeat password: *</p> <p>* Mandatory field</p> <p><input type="radio"/> Add or replace devices</p>
En este paso se introduce el PIC y el RID, estos seriales están ubicados a un costado del Sunny Multigate, pulsar identificar, ya identificado el Sunny Multigate, pulsar next.	<p>Select devices</p> <p>Please enter the PIC and the RID in order to register the device. Select [Identify]. For Sunny Home Manager: enter the serial number in the "PIC" field and the registration ID in the "RID" field.</p> <p>PIC * RID *</p> <p>00168000002845 d3xhfm Identify</p>
En la ventana introducir la potencia instalada de la planta y el rendimiento anual de la misma, y los datos de la ubicación geográfica de la planta.	<p>Extended Plant Properties</p> <p>Plant Properties</p> <p>Plant power: * 5.3 kWp</p> <p>Specific Annual Yield: * kWh / kWp</p> <p>Zip Code/City: *</p> <p>Country: * United States</p> <p>Time Zone: * (UTC+01:00) Amsterdam, Berlin, Bern, Nieslatal, Rome</p> <p>Automatic updates: * <input type="checkbox"/> Automatic update of all devices in the PV plant</p> <p>* Mandatory field</p>
Se verifica que los datos ingresados durante la configuración sean los adecuados, pulsar finalizar, caso contrario corregirlos.	<p>Plant Summary Solar Academy TL US test</p> <p>Plant Properties</p> <p>Plant Name: Solar Academy TL US test</p> <p>Plant power: 5.3 kWp</p> <p>Specific Annual Yield: 1800 kWh/kWp</p> <p>Zip Code/City: 95765 Rocklin</p> <p>Country: United States</p> <p>Time Zone: (UTC-08:00) Pacific Time (US & Canada); Tijuana</p> <p>Automatic updates: active</p>
Esperar mientras se configura la planta, este proceso puede tardar varios minutos.	<p>Configuring your Plant</p> <p>Please be patient, while we save your new plant configuration. This can take a few minutes.</p> <p>100 %</p>
Se observa el estado de la planta, para finalizar pulsar a la planta, de esta manera ya podemos tener acceso a las aplicaciones de esta.	<p>Communication monitoring is activated</p> <p>Automatic daily report is activated.</p>

Para tener más información acerca del funcionamiento y aplicaciones del Sunny Portal se recomienda ver el Anexo A-6


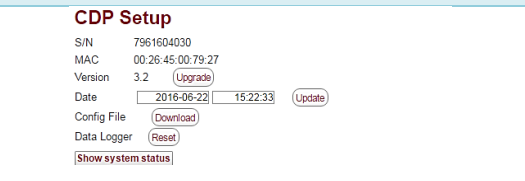
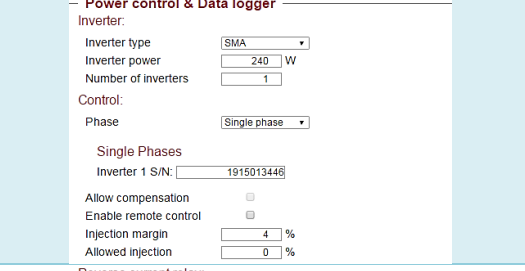
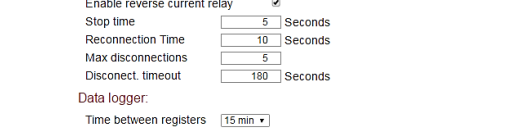
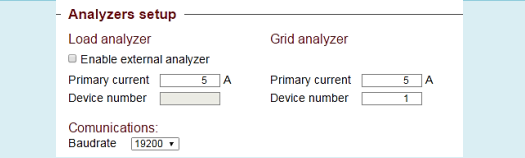
4.6. CDP-0

Para utilizar las funciones que presenta el contador dinámico CDP-0 de potencia es necesario previamente configurar ciertos parámetros, para lo cual se debe estar conectados mediante ethernet con la PC, es necesario que el computador este con una conexión estable a internet.

Para empezar con la configuración del CDP-0, se le asigna una dirección IP manualmente, ingresando por medio del teclado, para mayor información ver Anexo A-7.

Tabla 23

Proceso de configuración del portal web para el CDP-0

Proceso	Imagen
Para iniciar con la configuración del equipo ingresar la dirección IP en el buscador de internet.	
Una vez digitado el IP en el explorador se muestra el menú de configuración. Empezar la configuración cambiando la fecha y hora.	
Configurar el Power control y Data logger, en los cuales se ingresará la marca del inversor (inverter type), la potencia (inverter power), el número de serie (inverter S/N) y tipo de sistema (phase)	
Configurar Reverse current relay, con los datos que el fabricante sugiere. Y en el data logger configurar el tiempo de registro de datos (time between registers)	
En Analyzers configurar la amplitud de la corriente que se tiene tanto en el primario como en el secundario de los transformadores de corriente (primary current), y posteriormente la velocidad de comunicación.	

CONTINÚA 

	PV analyzer <input type="checkbox"/> Enable external analyzer Primary current <input type="text" value="5"/> A Device number <input type="text"/>
<p>Para finalizar con la configuración, se asigna el nombre a la planta (host name) e introducir la IP (address) al igual que la máscara y submascara de red, los servidores DNS, y presionar en Save setup. De esta manera queda configurado el CDP-0</p>	<p>Network & Security Setup</p> <p>Network</p> Host name <input type="text" value="tesis"/> DHCP <input type="radio"/> On <input checked="" type="radio"/> Off Address <input type="text" value="192.168.0.100"/> Netmask <input type="text" value="255.255.255.0"/> Gateway <input type="text" value="192.168.0.1"/> Primary DNS server <input type="text" value="192.168.0.1"/> Secondary DNS server <input type="text"/> <p>Security</p> Password <input type="radio"/> On <input checked="" type="radio"/> Off New password <input type="text"/> Repeat password <input type="text"/> <p> <input type="button" value="Save setup"/> <input type="button" value="Load default setup"/> <input type="button" value="Reset CDP"/> </p>



4.7. Evaluación del recurso solar

Para la evaluación del recurso solar fue necesario acoplar un acondicionador de señal debido al uso del sensor SP-110 y el uso de un Arduino UNO para conectarlo a la PC. Para la implementación del sistema se emplea:



- 15 m de cable UTP blindado.
- 1 fuente de 24 VDC.
- 1 Arduino UNO.
- Piranómetro SP-110
- 2 cajas.

Tabla 24

Acople del Piranómetro a la estructura soporte

Proceso	Imagen
Se acopla el piranómetro a la estructura soporte.	
Colocar el arduino UNO y el acondicionador dentro de señal dentro de las cajas.	

CONTINÚA 

<p>Colocar la caja con el acondicionado en la estructura soporte.</p>		 A black rectangular box is mounted on a metal structure. The box is oriented vertically and has a small white component on top. The structure is part of a larger assembly, possibly a robot or a specialized workstation.	
<p>Colocar la caja con el arduino UNO y la fuente de 24 VDC junto a la PC.</p>		 A black rectangular box is placed on a desk next to a PC tower. The box is oriented vertically and has a blue cable connected to it. The PC tower is a standard desktop computer case.	

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo representa los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía, con la finalidad de realizar las diferentes pruebas experimentales en base a los equipos implementados del módulo didáctico de conexión a la red, mediante la gestión de la energía, para evaluar y determinar su funcionamiento en base a la adquisición de datos.

5.1. Prueba de Comunicación

Para realizar esta prueba se implementó una mini red de cable ethernet mediante un Router Wireless N 150 para comunicar los equipos Sunny Multigate y CDP-0, permitiendo monitorear y adquirir las magnitudes eléctricas mediante la PC.

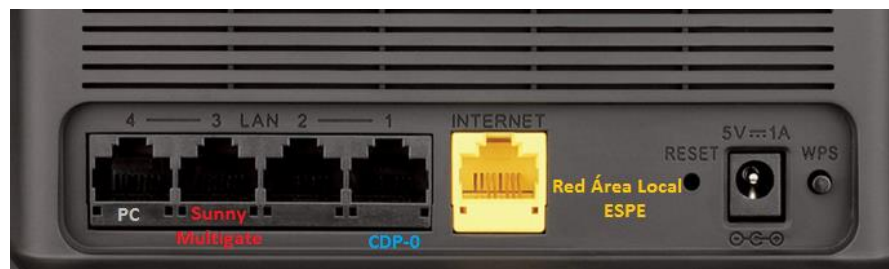


Figura 71 Puertos ethernet de los equipos

5.2. Prueba de Cambio de Hora

Esta prueba se realiza únicamente en el equipo CDP-0, esto se debe a que el equipo está programado para hora de España. Entonces, se debe realizar el cambio de hora y fecha cada vez que el módulo didáctico entre en funcionamiento.

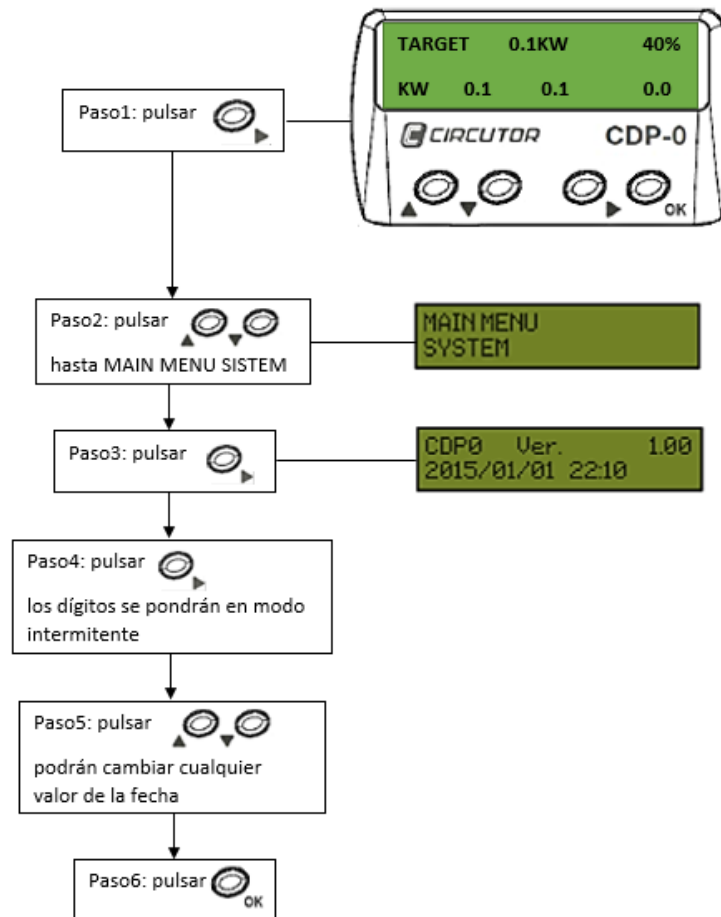


Figura 72 Pasos para el cambio de hora y fecha en el CDP-0

5.3. Gestión de datos para evaluación del recurso energético

Para la realización de esta prueba se determina que no existen cargas netamente resistivas, empleando así el uso de cargas: R (lámpara incandescente de 150 W) y RL con: R=50 ohm; L=200mH, el sistema cuenta con un sensor de radiación solar adaptado su acondicionamiento para la adquisición de datos [w/m^2] en un tiempo determinado. Del mismo modo el sistema cuenta con otros equipos como: el SUNNY MULTIGATE y CDP-0 de la misma manera cuentan con la particularidad de adquirir datos.

Con cada registro de datos de cada uno de los equipos se realizó tablas y gráficas para comparar la cantidad de radiación solar con respecto a las potencias producidas por los equipos anteriormente mencionados para así determinar la eficiencia del sistema respectivamente.

Así se obtiene lo siguiente:

5.3.1. Para carga resistiva

Carga: Lámpara incandescente de 150 W

Tabla 25

Datos potencia-horas del día por el Sunny Explorer

Tiempo	Potencia entregada por el generador fotovoltaico [W]
8:00	8
9:00	28
10:00	36
11:00	44
12:00	40
13:00	32

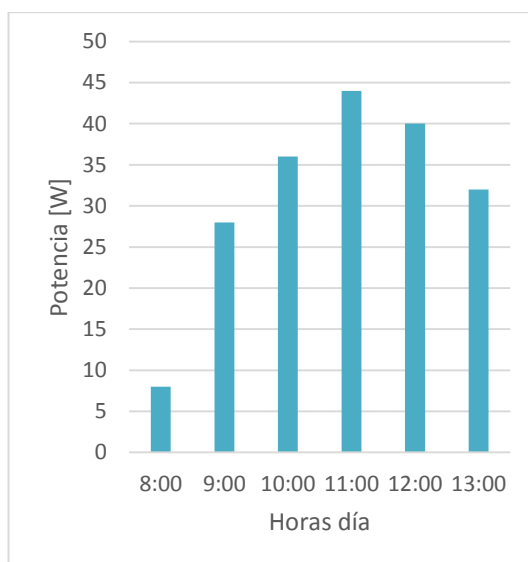


Figura 73 Potencia-horas día mediante el Sunny Explorer

Tabla 26

Datos adquiridos por el CDP-0

Horas día	PV W L1	LOAD W L1	GRID CONSUMPTION W L1	GRID INJECTION W L1	PERCENT L1	PV Wh	LOAD Wh	GRID CONSUMPTION Wh	GRID INJECTION Wh
8:00	6	112	102	0	44	1784	6723	4733	21
9:00	18	112	87	0	44	1796	6834	4826	21
10:00	22	115	87	0	45	1818	6948	4911	21
11:00	36	115	72	0	45	1848	7063	4989	21
12:00	39	116	70	0	46	1881	7178	5065	21
13:00	29	117	82	0	46	1908	7294	5147	21

- PV W L1: Indica la potencia entregada por el generador fotovoltaico.
- LOAD W L1: Se refiere a la potencia consumida por la carga.
- GRID CONSUMPTION W L1: Es la potencia consumida de la red pública.
- GRID INJECTION W L1: Corresponde a la potencia inyectada a la red pública.
- PERCENT L1: Indica el porcentaje de regulación de la potencia nominal del inversor.
- PV Wh: Energía generada por el inversor
- LOAD Wh: Energía consumida por la carga
- GRID CONSUMPTION Wh: Energía consumida por la red pública
- GRID INJECTION Wh: Energía inyectada a la red pública

Tabla 27

Datos irradiancia-horas día por el sensor SP-110

Horas día	Irradiancia [W/m ²]
8:00	77,81
9:00	175,46
10:00	231,71
11:00	412,96
12:00	487,34
13:00	267,81

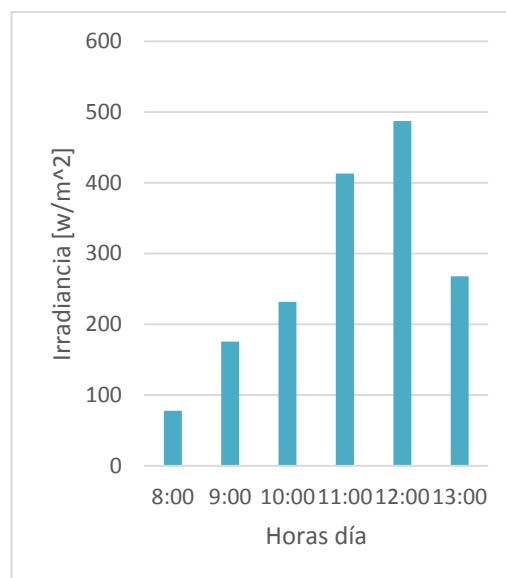


Figura 74 Irradiancia-horas día mediante el sensor SP-110

5.3.2. Para carga RL serie.

Para:

$$R = 150\Omega$$

$$L = j75.39$$

$$z = \sqrt{(R)^2 + (xL)^2} \quad \text{Ec. (31)}$$

$$z = \sqrt{(150)^2 + (75.39)^2} = 167.87$$

$$fp = 26.68$$

Tabla 28

Datos potencia-horas día por el Sunny Explorer

Horas día	Potencia entregada por el generador fotovoltaico[W]
12:00	120
13:00	180

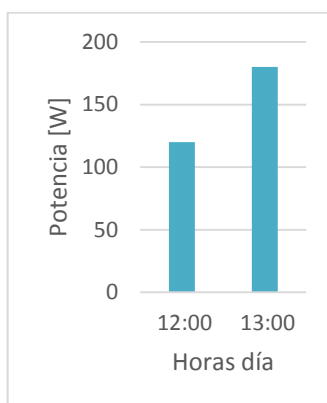


Figura 75 Potencia-horas día mediante el Sunny Explorer

Tabla 29

Datos irradiancia-horas día por el sensor SP-110

Horas día	Irradiancia [W/m ²]
12:00	1004,66363
13:00	1090,0829

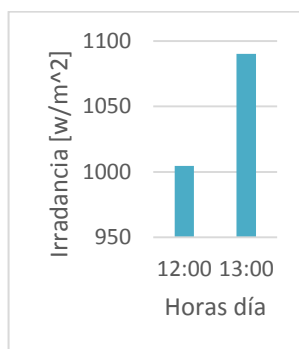


Figura 76 Radiación-horas día mediante el sensor SP-110

Tabla 30

Datos adquiridos por el CDP-0

Horas del día	PV W L1	LOA D W L1	GRID CONSUMPTION W L1	GRID INJECTION W L1	PERCENT L1	PV Wh	LOAD Wh	GRID CONSUMPTION Wh	GRID INJECTION Wh
12:00	124	164	50	11	21	4041	12608	8260	180
13:00	161	165	5	1	21	4194	12771	8275	185

- PV W L1: Indica la potencia entregada por el generador fotovoltaico.
- LOAD W L1: Se refiere a la potencia consumida por la carga.
- GRID CONSUMPTION W L1: Es la potencia consumida de la red pública.
- GRID INJECTION W L1: Corresponde a la potencia inyectada a la red pública.
- PERCENT L1: Indica el porcentaje de regulación de la potencia nominal del inversor.
- PV Wh: Energía generada por el inversor
- LOAD Wh: Energía consumida por la carga
- GRID CONSUMPTION Wh: Energía consumida por la red pública
- GRID INJECTION Wh: Energía inyectada a la red pública

5.4. Resultados

Para determinar la eficiencia del sistema se utiliza la ecuación *Ec.*(32) donde:

$$\eta = \text{eficiencia}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\% \quad \text{Ec. (32)}$$

$$P_{in} = I * A_{panel} \quad \text{Ec. (33)}$$

Donde:

P_{out} = Potencia entregada por el panel fotovoltaico

$$I = \text{Irradiancia medida} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

A_{panel} = Área del panel fotovoltaico

El área del panel fotovoltaico es:

$$A = 1.44 \text{ m}^2$$

Para determinar la energía del panel fotovoltaico se utiliza los datos de la tabla 26, 27, 29 y 30 con lo que se determina las eficiencias para cada caso:

Tabla 31

Cálculos de eficiencias

Tipo de carga	Horas-Día	Potencia de entrada [W]	Potencia de Salida [W]	Rendimiento %
Lámpara incandescente	23/6/2016 8:00	103,4064	6	5,802348791
	23/6/2016 9:00	252,6624	18	7,124130856
	23/6/2016 10:00	333,6624	22	6,593490906
	23/6/2016 11:00	594,6624	36	6,053855095

CONTINÚA 

	23/6/2016 12:00	701,7696	39	5,557379516
	23/6/2016 13:00	385,6464	29	7,519842011
Carga RL	28/6/2016 12:00	1446,624	124	8,571681377
	28/6/2016 13:00	1569,7152	161	10,25663764

La tabla 32 muestra los valores de potencia mostrados por los equipos Sunny y CDP-0.

Tabla 32

Potencias medidas por Sunny Explorer y CDP-0

Carga	Hora día	Potencia Sunny Explorer [W]	Potencia CDP-0 [W]
Lámpara incandescente	12:00	40	39
RL	12:00	120	124

De acuerdo a los datos en la tabla 31 la mejor eficiencia del módulo didáctico se obtiene con una radiación de 1090.08 W/m^2 con la cual se obtiene un rendimiento de 10.25% lo que indica un valor muy próximo al rendimiento del generador fotovoltaico de 14.3%.

De acuerdo a los datos presentados en la tabla 30, la energía producida por el sistema fotovoltaico es de 153 Wh en una hora y si se dispone de 4.32 horas sol pico por día, la energía producida corresponde a 660.96 Wh por día.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

- Se implementó el módulo didáctico de un sistema de generación fotovoltaica de conexión a red, el mismo que consta de la estación de trabajo y la estructura soporte del panel fotovoltaico. La potencia del sistema didáctico es 230 W, 220 V one-phase it no neutral y consta de un generador fotovoltaico de 230 Wp, un microinversor de 240 W, un módulo de interconexión a red, el módulo contador de energía bidireccional CDP-0 y equipos de medición de corriente.
- La evaluación del recurso solar se realizó empleando el sensor de radiación SP-110 cuya señal fue acondicionada para ser leída por el arduino UNO y finalmente adquirir los datos mediante el programa LabVIEW a través del puerto USB.
- La comunicación entre los equipos del sistema se realizó mediante la implementación de una mini red de comunicación ethernet para la cual se designan las direcciones IP en el router para los equipos Sunny Multigate, contador bidireccional CDP-0 y PC.
- Se realizaron las guías para las pruebas con los equipos del sistema de generación fotovoltaica de conexión a la red en el laboratorio de Fuentes Alternativas de Energía.
- De la prueba realizada se obtuvo que con una irradiancia de 1090.08 w/m^2 el módulo didáctico genera una potencia de 161 W y posee un rendimiento global del 10.25%.
- Si existe un óptimo recurso solar, y la potencia consumida por la carga es menor a la potencia generada por el panel fotovoltaico; el excedente de energía se inyecta a la red pública por medio del gestor de energía CDP-0.

6.2. Recomendaciones

- Antes de poner en marcha el módulo didáctico, verificar que los puntos de conexión sean seguros, ya que el sistema entrega energía eléctrica

a la red pública a 220 V, lo cual podría afectar al usuario como el equipo mismo.

- Ubicar el generador fotovoltaico en sitios fuera de sombras, debido a que afecta en su rendimiento.
- Seguir cada uno de los pasos establecidos en las guías de prácticas para el laboratorio.
- Verificar que el acceso a internet instalado en el módulo didáctico, sea estable y continuo para no sufrir interrupciones en el monitoreo como en el registro de las magnitudes eléctricas de la red fotovoltaica creada en la web mediante el Sunny Multigate.
- El módulo Sunny Multigate permite conectar un número máximo de 12 microinversores, el cual permitirá incrementar la potencia de la planta a su máxima capacidad, permitiendo realizar nuevos proyectos de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiteco. (2013). Recuperado el 21 de 06 de 2015, de <http://www.aiteco.com/qfd-despliegue-de-la-funcion-de-calidad/>
- ARCONEL. (2008). *Atlas Solar*. Recuperado el 02 de 02 de 2016, de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/>
- Autosolar. (2013). *Microinversor*. (iEnergy) Recuperado el 17 de 11 de 2015, de https://autosolar.es/inversores/micro-inversores/micro-inversor-ienergy_precio
- AutoSolar. (s.f.). *AutoSolar*. Recuperado el 14 de 09 de 2015, de <https://autosolar.es/inversores/micro-inversores>
- Barragan, J. (07 de 05 de 2012). *Tutoría Virtual*. Obtenido de <http://uhu.es/antonio.barragan/content/7-aplicaciones-industria>
- blog.espol.edu.ec. (02 de Julio de 2011). Recuperado el 15 de Marzo de 2016, de <http://blog.espol.edu.ec/crielectric/tag/contacto-directo/>
- Calero Pérez, Roque; Colmenar Santos, Antonio; Castro Gil, Manuel Alonso; Collado Fernández, Eduardo; Carta González, José Antoño. (2013). Centrales de Energías Renovables. En *Generación Eléctrica con Energías Renovables* (págs. 256-260). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Cardona, N. (s.f.). *Monitorización de Sistemas Fotovoltaicos*. Recuperado el 23 de 09 de 2015, de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDIQFjAAahUKEwj_6bWOuYzIAhXEIR4KHXPUD64&url=http%3A%2F%2Fperusolar.org%2F16-spes-taller%2FMonitorizacion_MSidrach.pdf&usg=AFQjCNFzCusZgk5MiC1LedpVzunjQgU77Q&sig2=wmy-AHEqzafoZ216-0-wT
- Castells, X. E. (2012). Energías Renovables. En *Radiación Solar* (págs. 600-602). Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

- Ciencias, N. (14 de 11 de 2011). *Espectro de radiacion solar y actividad fotosimétrica*. Recuperado el 11 de 10 de 2015, de <https://naturalmenteciencias.wordpress.com/tag/radiacion-solar/>.
- Cuora. (2011). Recuperado el 03 de 02 de 2016, de <https://www.quora.com/What-are-grid-connected-and-off-grid-solar-plants>
- de la Cruz Gómez, J. M., & de la Cruz Gómez, F. (2010). Guía de Mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas. En *Mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas* (pág. 52). Rubí(barcelona): ediciones Ec experiencia.
- Desing, S. (02 de 11 de 2014). Recuperado el 03 de 02 de 2016, de <http://www.mechanicalenergyfactory.com/category/system-design/>
- EcuRed. (14 de 12 de 2010). *Piranómetros*. Recuperado el 03 de 02 de 2016, de <http://www.ecured.cu/Piran%C3%B3metro>
- Encina, J. (2011). *El Contador*. Recuperado el 06 de 11 de 2015, de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//3000/3089/html/34_energa_elctrica_el_contador.html
- Energéticas, M. (2013). *Sistemas de telecontrol y telegestión*. Recuperado el 1110 de 2015, de http://www.mejoras-energeticas.com/catalogos_redes/SISTEMAS%20DE%20TELECONTROL.pdf
- Faradayos. (s.f.). *Selección de conductores*. Recuperado el 17 de 11 de 2015, de <http://faradayos.blogspot.com/2014/01/parametros-seleccionar-conductor-electrico-variables.html>
- Fernandez Ferichola, J. (2009). *Caracterizacion de modulos fotovoltaicos con dispositivos portátiles*. (e-Archivo) Recuperado el 11 de 11 de 2015, de <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/6037>
- Finder. (09 de 2013). *El Mundo Sustentable de las Energías Renovables*. Recuperado el 20 de 10 de 2015, de

https://www.findernet.com/sites/all/files/user_70/ar_wp_energias__renovables.pdf

Guerrero, R. (2011). Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas. En *Energía solar fotovoltaica* (págs. 20-21). Málaga: ic editorial.

Gutiérrez Montes, B. (10 de 2009). Recuperado el 02 de 12 de 2015, de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7010/PFC_Berta_Gutierrez_Montes.pdf?sequence=1

Hispanista. (2014). Recuperado el 05 de 07 de 2016, de <http://www.galeon.com/redesljd/ethernet.htm>

Ingenova. (2010). *Instalacion fotovovltaica conectada a la red*. Recuperado el 01 de 12 de 2015, de <http://www.ingenova.tv/index.php?o=2>

Invesquia, i. d. (2016). *Invesquia*. Recuperado el 12 de 07 de 2016, de <http://www.iqdinvesquia.com/equipos-y-suministro/medicion-y-control/>

Kamstrup. (2015). *Contadores de energía*. Recuperado el 06 de 11 de 2015, de <http://products.kamstrup.com/ajax/downloadFile.php?uid=516e41a9ac1bb&display=1>

López, I. (06 de 2011). *IsAzure*. Recuperado el 19 de 07 de 2016, de <https://isazure.wordpress.com/2011/04/02/%C2%BFque-es-la-plataforma-de-windows-azure/>

Manzano, S., Peña Ortíz, R., Guevara , D., & Ríos, A. (17 de 10 de 2014). *MASCANA, I+D+ingeniería 2014*. Recuperado el 28 de 07 de 2016, de http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21402/1/TIC.EC_14_Manzano%20et%20al.pdf

Master. (2016). Recuperado el 05 de 07 de 2016, de <http://www.mastermagazine.info/termino/4930.php>

- McGraw-Hill Compaines. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red*.
- Mendez. (10 de 01 de 2011). Recuperado el 21 de 06 de 2015, de <http://es.slideshare.net/mendezm22/elementos-de-proteccion-y-comando>
- Méndez, J., & Cuervo, R. (2013). Instalaciones fotovoltaicas de conexión a red. En *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA*. MADRID: FUNDACIÓN CONFEMENTAL. Recuperado el 09 de 09 de 2015
- Moro, M. (2010). Instalaciones Solares Fovoltaiicas. En *Instalaciones Conectadas a la red* (pág. 80). Madrid: COPYRIGHT, Ediciones Paranimfo, SA.
- Pablos, E. S. (2011). *Energía Solar Pablos*. Recuperado el 17 de 09 de 2105, de <http://www.energiasolarpablos.com/fotovoltaica/conexion-a-red/>
- Parras, F. (2014). *SlidePlayer*. Recuperado el 19 de 07 de 2016, de <http://slideplayer.es/slide/1651461/>
- Pérez Carrasco, D. (s.f.). *Procedimiento de Mantenimiento y Calibración de Estación Radiométrica* . Obtenido de Medida de la Radiación Solar : <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4443/fichero/Memoria+PFC%252F3.pdf>
- Prospecnet. (2015). *prospecnet*. Recuperado el 19 de 07 de 2016, de http://www.prospecnet.com/A_LaNube.aspx
- Proviento. (2015). *Panel Solar*. Recuperado el 2015 de 11 de 17, de <http://www.proviento.com.ec/>
- Renovables, S. E. (21 de 05 de 2011). *El reto político de la energía Renovable*. Recuperado el 10 de 11 de 2015, de <https://smienergias.wordpress.com/category/energia-solar/energia-solar-en-el-mundo/>

- Sánchez, M. Á. (2011). Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas. En *Estructura y Soporte* (pág. 149). ANTEQUERA, Málaga: ic editorial.
- Schneider, E. (2015). Recuperado el 03 de Agosto de 2016, de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiAkoWO_aXOAhWLdT4KHXqBCYcQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.schneider-electric.com.ar%2Fdocuments%2Flocal%2Fsoluciones%2Fguia-soluciones-parque-fotovoltaico.pdf&usg=AFQjCNHLx2TAuzAXS
- SENSOVANT. (s.f.). *Sensores de Radiación*. Recuperado el 03 de 02 de 2016, de <http://sensovant.com/productos/meteorologia/radiacion-solar/radiacion-ultravioleta-UV-UVB/articulo/sensor-ultravioleta-UV-radiacion-UVB-UV-B-MU200.html>
- SMA. (2015). Recuperado el 21 de 09 de 2015, de www.sma.com
- SMA. (2015). *SMA Solar technology*. (Sunny Boy 240) Recuperado el 11 de 11 de 2105, de <http://www.sma-iberica.com/es/productos/inversores-solares/sunny-boy/sunny-boy-240.html>
- Solar. (2010). Obtenido de <http://www.suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6438>
- solfranc. (12 de 2014). *Medidor de radiación*. Recuperado el 03 de 02 de 2016, de http://www.solfranc.com/newsletter/hist/solfranc/newsletter_diciembre.html
- Sunfields. (2015). *Cálculo de sistemas fotovoltaicos autónomos*. Recuperado el 01 de 12 de 2015, de <http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>
- Tecnologías. (2014). *Silicio Policristalino*. Recuperado el 16 de 11 de 2015, de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>

Torretagle Albán, G. M., Benalcázar, M., & Basile, L. (2010). Recuperado el 12 de Febrero de 2016, de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjPnOn3_qXOAhXlaD4KHdhIClwQFgggMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.revistapolitecnica.epn.edu.ec%2Ffojs%2Findex.php%2Frevista_politecnica%2Farticle%2Fdownload%2F187%2Fpdf&usg=AFQjCNEA7k2M9

UPV. (2006). Recuperado el 05 de 07 de 2016, de http://www.redes.upv.es/oir/trasp/T1_4p_CAS.pdf

Wales, J. (30 de 05 de 2016). Recuperado el 12 de 07 de 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/Computaci%C3%B3n_en_la_nube

Willey, J., & Masters, G. (2013). *Renobable and efficient Electric Power System*. New Jersey: Hoboken.

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE ING. ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el siguiente trabajo fue desarrollado por los Señores: JUAN CARLOS ECHEVER BÁEZ y CÉSAR LUIS NARANJO BARRERA, bajo nuestra supervisión.



Ing. Mario Jiménez
Director del Proyecto





Ing. Katya Torres
Director de Carrera



Dr. Rodrigo Vaca Corrales
Secretario Académico