

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MINIPLANTA DE
GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA LA ESCUELA
PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE LA
UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN PABLO.”

Presentado por:

LISSETH KRISTEL TREJO PACHECO

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Electricista

AREQUIPA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

A Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis queridos padres Rommel y Rosario: por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Son los mejores padres.

INDICE

Capítulo I.....	10
1.1 DATOS REFERENTES A LA EMPRESA.....	10
1.2 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	10
1.3 ORGANIGRAMA.....	11
1.4 LABORES DESEMPEÑADAS	11
1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	12
1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	13
1.6.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	13
1.6.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS	15
1.7 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	17
1.7.1 OBJETIVOS.....	17
1.7.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
1.7.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.7.2 DESARROLLO Y ETAPAS DEL PROYECTO.....	18
Capítulo II.....	19
2.1 ENERGÍA SOLAR.....	19
2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	20
2.2.1 RADIACIÓN E IRRADIACION SOLAR	21
2.2.2 FACTORES ASTRONÓMICOS, ATMOSFÉRICOS Y AMBIENTALES.....	23
2.2.2.1 GEOMETRIA TIERRA SOL.....	23
2.2.2.2 ABSORCIÓN ATMOSFERICA	25
2.2.3 PANELES SOLARES	28
2.2.3.1 TIPOS DE PANELES SOLARES.....	30
2.2.3.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS PANELES SOLARES	32
2.2.3.3 CURVAS IV	33
2.2.4 BATERÍAS	35
2.2.4.1 TIPOS DE BATERÍAS	36
2.2.4.2 CONFIGURACIÓN DE BATERÍAS.....	39
2.2.4.3 VIDA UTIL DE LAS BATERÍAS	40

2.2.5 CONTROLADOR DE CARGA	42
2.2.5.1 TIPOS DE CONTROLADORES DE CARGA.....	43
2.2.6 CABLEADO ELÉCTRICO PARA APLICACIONES SOLARES	45
Capítulo III.....	48
3.1 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	48
3.1.1 DETERMINACIÓN DE CARGA Y CAPACIDAD.....	48
3.1.3 SELECCIÓN DE PANELES.....	51
3.1.4 DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO.....	53
3.1.5 SELECCIÓN DE CONTROLADOR DE CARGA.....	58
3.1.6 DISEÑO DE TABLERO ELÉCTRICO	59
3.1.7 DIMENSIONAMIENTO DE CABLEADO.....	63
3.2 DISEÑO MECÁNICO	65
3.2.1 BASTIDOR PARA PANELES SOLARES	65
3.2.2 SOPORTE PARA TABLERO ELÉCTRICO	67
3.2.3 CAJA DE BATERÍAS.....	68
3.3 ESTUDIO TEÓRICO DEL DESEMPEÑO	69
3.3.1 MODELO MATEMÁTICO	69
3.3.2 SIMULACIÓN DE GENERACIÓN/CONSUMO.....	70
3.3.3 DISEÑO DE ESCENARIOS DE PRUEBA.....	73
3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA	74
3.4.1 COSTOS	74
Capítulo IV.....	76
4.1 RECOLECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	76
4.2 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	77
4.3 RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	80
BIBLIOGRAFIA	82
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Ubicación del proyecto	15
Tabla 2 Relación radiación difusa / directa en Londres y Adén (Michael R. Starr)	27
Tabla 3 Comparación de tecnologías de baterías.....	38
Tabla 4 Datos eléctricos de los reflectores.....	49
Tabla 5 Tramos y longitudes de cableado.....	63
Tabla 6 Irradiación solar promedio por mes. (Senamhi).....	70
Tabla 7 Estimación de la energía diaria que será entregada por el generador cada mes.....	70
Tabla 8 Promedio mensual de duración del día en Arequipa.....	72
Tabla 9 Energía consumida diaria estimada para cada mes.....	73
Tabla 10 Costos del Proyecto	75
Tabla 11 WATTS HORA generados para días seleccionados	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Generador solar remolcable fabricado por Vector SRL.....	13
Figura 2 Ubicación del proyecto	14
Figura 3 Ubicación del proyecto	14
Figura 4 Precipitación promedio mensual en Arequipa (climate-data.org, 2019)	15
Figura 5 Precipitación promedio mensual en Arequipa (climate-data.org, 2019)	16
Figura 6 Irradiación solar promedio mensual en Arequipa (Weatherspark.com, 2019).....	17
Figura 7 Generación de energía eléctrica por energía solar concentrada. (Ecodebate, 2019).....	20
Figura 8 Distribución de la irradiación solar global. (Annual Solar Irradiance, Intermittency and Annual Variations, 2019).....	22
Figura 9 Distribución de la irradiación solar en Arequipa en distintos meses del año. (Senamhi).....	22
Figura 10 Geometría Sol-Tierra.....	23
Figura 11 Analema solar en una ubicación en el hemisferio norte.....	24
Figura 12 Rastreador Solar.....	25
Figura 13 Inclinación de panel solar.....	25
Figura 14 Tipos de radiación que alcanzan los paneles fotovoltaicos.....	26
Figura 15 Composición de un panel solar típico.....	29
Figura 16 Conexión de paneles solares en serie y en paralelo. (Wiring Solar Panels, 2019).....	30
Figura 17 Curva IV característica de un panel solar. (IV Curve of a Solar Panel, 2019).....	34
Figura 18 Variación de la curva VI y punto de máxima potencia a lo largo del día	35
Figura 19 Conexión de acumulador, carga y fuente eléctrica.....	36
Figura 20 Baterías de Litio y Baterías de Plomo-Ácido.....	37
Figura 21 Arreglos en serie y paralelo de baterías.....	40
Figura 22 Ciclo de vida de una batería AGM.....	41
Figura 23 Tipos de controlador solar. (a) 2 etapas, (b) PWM y (c) MPPT.....	44
Figura 24 Sección interna de un cable UL4703.....	46
Figura 25 Interconexiones MC4.....	46
Figura 26 Conexión de paneles solares.....	47
Figura 27 Reflectores Halógenos.....	49
Figura 28 Mayor duración del día en Arequipa.....	50
Figura 29 Menor duración del día en Arequipa.....	50
Figura 30 Placa del panel SHARP ND240QCJ.....	52
Figura 31 Características Eléctricas del panel SHARP ND240QCJ. (Sharp)...	52
Figura 32 Paneles solares ND-240QCJ instalados.....	53
Figura 33 – Irradiación solar diaria promedio mes de Junio(Senamhi).....	54
Figura 34 Irradiación solar diaria promedio anual (Senamhi).....	57

Figura 35 Controlador de carga PHOCOS MPPT 10/30	59
Figura 36 Diagrama del tablero	60
Figura 37 Tablero Eléctrico	61
Figura 38 Diagrama 3D de instalación de bastidor de paneles y tablero eléctrico.	62
Figura 39 Diagrama 3D de instalación de tablero eléctrico.	62
Figura 40 Tablero eléctrico en frente de bastidor de paneles.	63
Figura 41 Interconexión de paneles.	64
Figura 42 Cableado y conduit.....	64
Figura 43 Bastidor de paneles solares acotado.	65
Figura 44 Bastidor de paneles solares acotado indicando los dispositivos de giro y elevación.	66
Figura 45 Bastidor Instalado.....	66
Figura 46 Dispositivo de giro.....	67
Figura 47 Soporte de tablero.....	68
Figura 48 Soporte de tablero instalado.	68
Figura 49 Caja de baterías.....	69
Figura 50 Resultados para Arequipa de https://www.timeanddate.com/sun	72
Figura 51 Diagnosticador y registrador	74
Figura 52 Ejemplo de tabla de datos obtenida del registrador.	76
Figura 53 Detalle del cálculo en excel.....	78
Figura 54 Detalle del cálculo en excel.....	79
Figura 55 Energía generada estimada	81
Figura 56 Energía generada registrada.....	81

RESUMEN

Sistemas electrónicos Vector SRL es una empresa arequipeña que tiene como parte de sus actividades la fabricación e instalación de sistemas de generación solar móviles y fijos. Con el fin de aumentar las capacidades de sus productos y con ello su competitividad general se asoció con la Universidad Católica San Pablo para desarrollar el proyecto “DESARROLLO DE CAPACIDAD DE MONITOREO Y AUTODIAGNOSTICO INTELIGENTE PARA GENERADORES REMOLCABLES DE ENERGÍA SOLAR”. El presente informe presenta el diseño e implementación de un sistema de generación solar de 960 Watts de potencia nominal instalado en la Universidad Católica San Pablo para realizar dicho proyecto. La probidad del diseño del sistema es evaluada al comparar la capacidad de generación al momento del diseño con los resultados obtenidos por el monitor de potencia durante las pruebas del mismo.

ABSTRACT

Sistemas electrónicos Vector S.R.L. is an Arequipa company that, among its activities, manufactures and installs mobile and fixed solar generation systems. In order to increase the capabilities of its products and its general competitiveness, it partnered with Universidad Católica San Pablo to develop the project "DEVELOPMENT OF INTELLIGENT MONITORING AND SELF-DIAGNOSTIC CAPACITY FOR SOLAR ENERGY TOWED GENERATORS". This report presents the design and implementation of a 960 Watts (nominal power) solar power system installed at Universidad Católica San Pablo to carry out this Project. Effectiveness of the system design is evaluated by comparing the generation capacity at the time of the design with the results obtained by the power monitor during its tests.

Capítulo I

GENERALIDADES

1.1 DATOS REFERENTES A LA EMPRESA

Razón social: Sistemas Electrónicos Vector SRL

Dirección: Calle Peral 314 Oficina 302 – Cercado – Arequipa

Año de Constitución: 2002

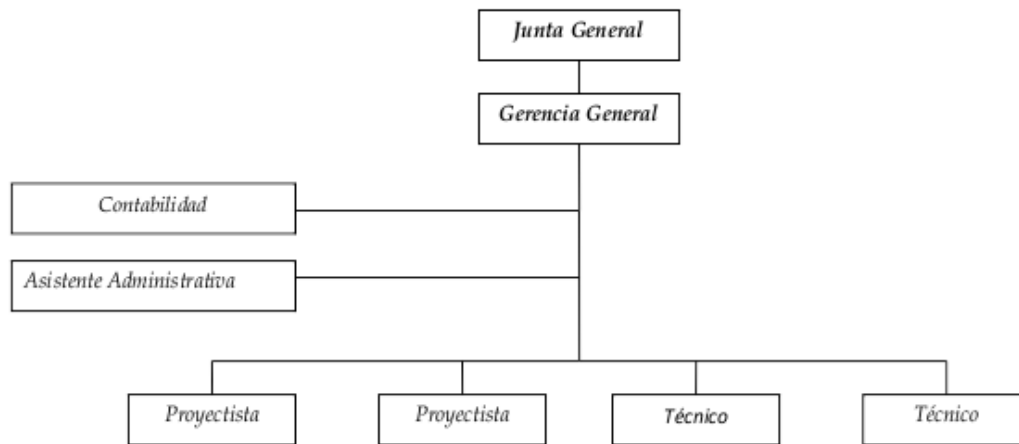
Página WEB: www.vector.com.pe

1.2 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Sistemas Electrónicos Vector S.R.L es una empresa pequeña basada en Arequipa y dedicada a proveer servicios y productos relacionados a la ingeniería electrónica a la industria de la región sur especialmente a la industria minera.

Los servicios que ofrece Vector S.R.L incluyen la reparación de equipo electrónico industrial y la realización de proyectos de automatización e instrumentación. Los proyectos realizados incluyen proyectos de instrumentación, automatización y energía fotovoltaica.

1.3 ORGANIGRAMA



Organigrama de Sistemas Electrónicos Vector SRL

1.4 LABORES DESEMPEÑADAS

A partir de Julio de 2015 inicié mis labores en Sistemas Electrónicos Vector SRL como practicante en el área técnica participando como apoyo en los diversos proyectos y operaciones desarrollados en la empresa, entre los cuales se puede destacar:

- Reparación de tarjetas electrónicas de volquetes mineros (Apoyo técnico)
- Montaje de equipo de automatización e instrumentación. (Apoyo técnico)
- Proyecto “DESARROLLO DE CAPACIDAD DE MONITOREO Y AUTODIAGNOSTICO INTELIGENTE PARA GENERADORES REMOLCABLES DE ENERGÍA SOLAR”. (Diseño y desarrollo)
- Proyecto ““INTERFAZ DE ACCESO COMÚN PARA LOS DISTINTOS SISTEMAS ANTIGUOS Y MODERNOS EN LA PLATAFORMA DE COMUNICACIONES DEL CENTRO DE OPERACIONES DE EMERGENCIA REGIONAL” (Apoyo administrativo)

A partir de diciembre de 2015 se inició el diseño y construcción de la estación de pruebas del proyecto “DESARROLLO DE CAPACIDAD DE MONITOREO Y AUTODIAGNOSTICO INTELIGENTE PARA GENERADORES REMOLCABLES DE ENERGÍA SOLAR” en el cual participe como diseñadora, desarrolladora y supervisión de construcción del mismo.

A partir de julio de 2016 participe en la etapa de recopilación en interpretación de datos del mismo y en el desarrollo de prototipo del monitor inteligente de sistemas fotovoltaicos apoyando en las tareas de recolección de datos y verificación y validación de los resultados de las pruebas del prototipo.

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Sistemas Electrónicos Vector SRL ha desarrollado, producido y vendido sistemas de generación solar remolcables (Figura 1) y fijos para Sociedad Minera Cerro Verde (<http://www.vector.com.pe/productos.html>) y pretendía ofrecer una línea de tales productos para las empresas mineras. Los clientes habían solicitado que dichos sistemas de generación fotovoltaica pudiesen diagnosticar y comunicar su estado automáticamente a los operadores por lo que se decidió postular a un proyecto FINCYT (Fondo para la Innovación, la Ciencia y la Tecnología) para desarrollar dicha tecnología.



Figura 1 – Generador solar remolcable fabricado por Vector SRL

Como parte de dicho proyecto y de mano con la Universidad Católica San Pablo se debía diseñar y construir una estación fotovoltaica modelo para recabar información y realizar pruebas de los prototipos del sistema de diagnóstico mejorado. Dicha estación debería funcionar en la Universidad Católica San Pablo, alimentando parte de su iluminación y debería poder reproducir condiciones especiales de funcionamiento tales como inclinación y dirección de los paneles solares. Mi participación en el proyecto incluía el dimensionamiento, diseño, supervisión de instalación y pruebas de dicha estación.

1.6 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.6.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolló en el techo del edificio Newman, campus San Lázaro, de la Universidad Católica San Pablo ubicado en el distrito, provincia y departamento de Arequipa. Las Figura 2 y 3 muestran la ubicación. La tabla 1.1 muestra las coordenadas.

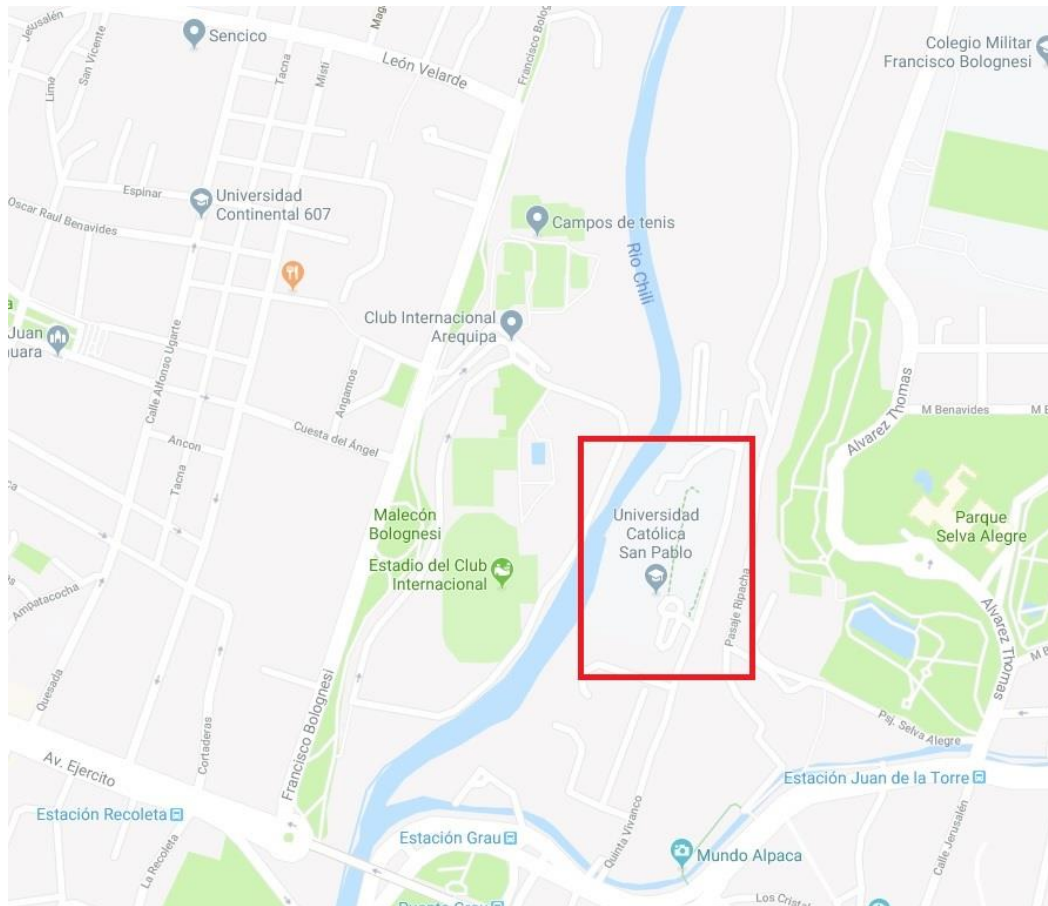


Figura 2 Ubicación del proyecto



Figura 3 Ubicación del proyecto

Tabla 1: Ubicación del proyecto

Latitud	16°23'25.0"S
Longitud	71°32'10.6"W

1.6.2 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

El clima en Arequipa es desértico a lo largo del año, casi sin lluvia. Se clasifica como BWk por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura media anual es de 14.5 °C. El mes más seco es abril, con 0 mm de lluvia. La mayor parte de la precipitación cae en febrero, promediando 29 mm. La figura 4 muestra los promedios mensuales de precipitación y la figura 5 la temperatura.



Figura 4 Precipitación promedio mensual en Arequipa (climate-data.org, 2019)

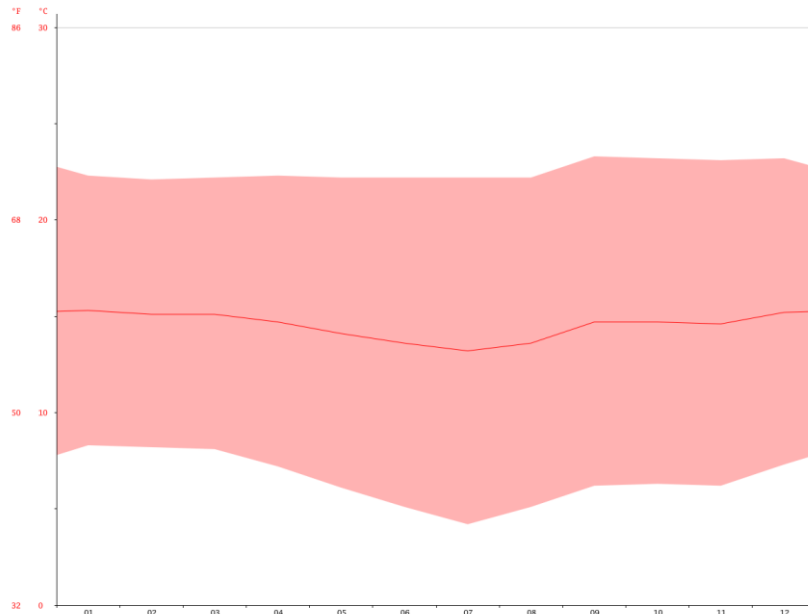


Figura 5 Precipitación promedio mensual en Arequipa (climate-data.org, 2019)

El período con mayor radiación solar del año dura 2,5 meses entre el 3 de octubre y el 19 de diciembre, con una irradiación promedio diaria superior a 7,6 kWh/m². El día con mayor irradiación es el 14 de noviembre, con un promedio de 8,2 kWh/m².

El período con menor radiación solar del año dura 2,7 meses entre 6 de mayo y el 30 de julio, con una irradiación promedio diaria menor a 6,1 kWh/m². El día con menor irradiación es el 20 de junio, con un promedio de 5,5 kWh/m².

El periodo más obscuro del año dura 2,7 meses, del 6 de mayo al 30 de julio, con una energía de onda corta incidente diario promedio por metro cuadrado de menos de 6,1 kWh. El día más obscuro del año es el 20 de junio, con un promedio de 5,5 kWh.

La figura 6 muestra promedios mensuales de irradiación solar.

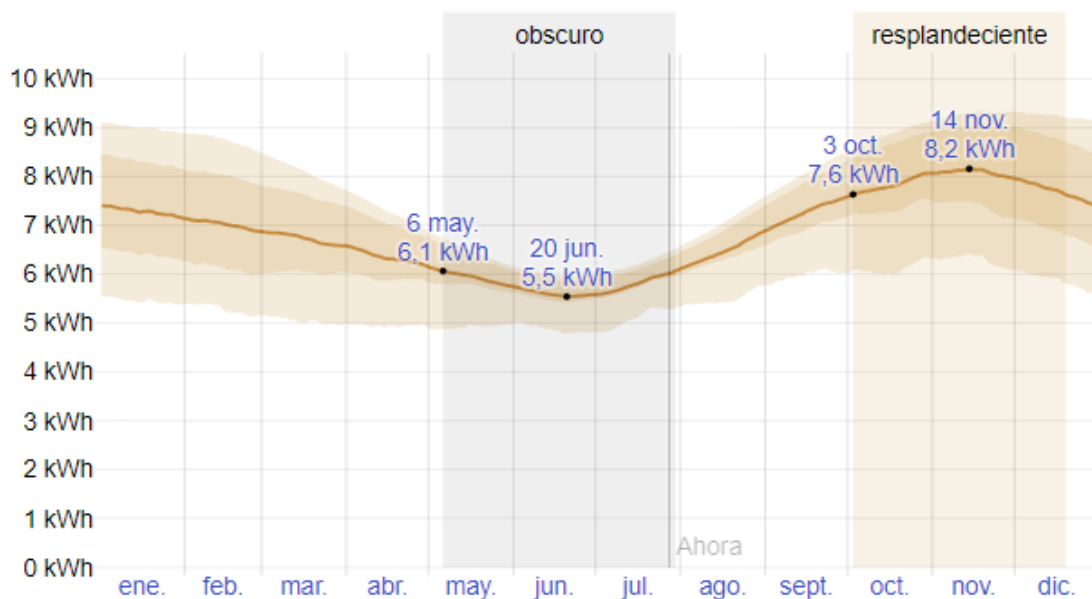


Figura 6 Irradiación solar promedio mensual en Arequipa (Weatherspark.com, 2019)

1.7 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.7.1 OBJETIVOS

Los siguientes son los objetivos generales y específicos del proyecto desarrollado.

1.7.1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseño y Cálculo de un sistema fotovoltaico para el desarrollo del proyecto “DESARROLLO DE GENERADORES DE ENERGÍA SOLAR REMOLCABLES CON CAPACIDAD DE MONITOREO Y AUTODIAGNOSTICO INTELIGENTE PARA APLICACIONES DE TELECOMUNICACIONES EN AREAS REMOTAS” en el campus San Lázaro de la Universidad Católica San Pablo.

1.7.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudio de la irradiación solar local.
- Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- Selección de componentes y dispositivos.
- Diseño eléctrico y mecánico.

- Estudio y evaluación de desempeño.

1.7.2 **DESARROLLO Y ETAPAS DEL PROYECTO**

El proyecto consistió en el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico que permitiese alimentar una parte de la iluminación del campus San Lázaro y a al mismo tiempo permitir realizar las pruebas y desarrollo de un dispositivo de diagnóstico de sistemas fotovoltaicos.

Las etapas del proyecto fueron las siguientes:

- Dimensionamiento y diseño del sistema fotovoltaico.
- Construcción de armazón y bastidor del sistema.
- Instalación de armazón y bastidor del sistema.
- Instalación de paneles solares, baterías, controlador de carga e interconexión eléctrica.
- Pruebas del sistema.
- Evaluación de resultados.

Capítulo II

MARCO CONCEPTUAL

2.1 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es toda la energía utilizable por el ser humano que proviene del sol. En un sentido amplio casi toda la energía utilizada por el ser humano a lo largo de la historia proviene directa o indirectamente del sol. La energía eólica es producida por el sol cuando calienta diferencialmente la atmósfera, la energía hidráulica es producida por el sol al vaporiza el agua del océano o de otros cuerpos de agua lo que permite que sea transportada a mayores altura y al condensarse aprovechar su energía potencial, incluso los combustibles fósiles son el resultado de procesos químicos y biológicos originados al aprovechar y almacenar las plantas la energía solar.

La energía es mejor aprovechada por el hombre en forma de energía eléctrica ya que así se puede transmitir a distancia y ser transformada eficientemente en formas útiles de energía como movimiento o luz. En un sentido más restringido la energía solar se puede definir como aquella energía que se obtiene de transformar directamente la energía solar en energía eléctrica.

Los dos principales tipos de energía solar son la energía solar concentrada que usa el incremento de temperatura ocasionado al concentrar la radiación solar para vaporizar agua y así mover una turbina produciendo electricidad.

La figura 7 muestra el principio de funcionamiento de la energía solar concentrada.

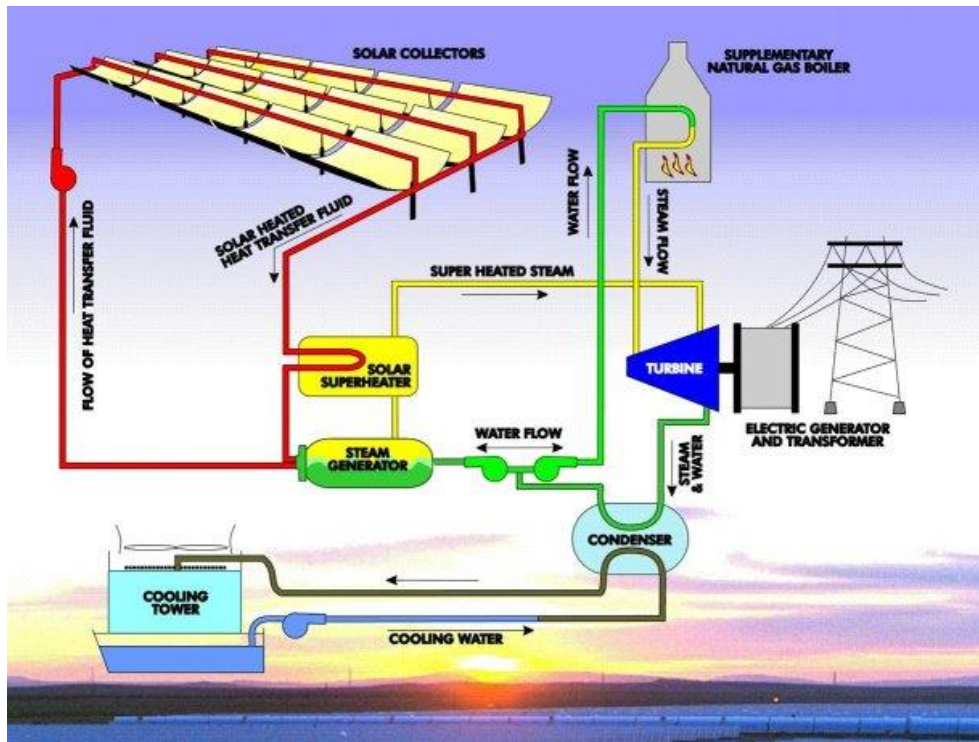


Figura 7 Generación de energía eléctrica por energía solar concentrada. (Ecodebate, 2019)

El otro tipo de energía solar es la energía solar fotovoltaica, por su flexibilidad y al ser una manera directa y muy escalable de generar energía eléctrica a partir de la energía solar es el tipo de energía solar más utilizada y de mayor crecimiento. La siguiente sección describe sus principios de funcionamiento y como se implementan los sistemas de generación basados en dicha energía.

2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

La energía solar fotovoltaica es una energía eléctrica generada a partir de la radiación solar por medio de paneles o plantas de energía fotovoltaica. Se dice que es renovable porque su fuente (el Sol) se considera inagotable en la escala del tiempo humano. Al final de su vida útil, el panel fotovoltaico habrá producido de 20 a 40 veces la energía necesaria para su fabricación y reciclaje.

La célula fotovoltaica es el componente electrónico básico del sistema. Utiliza el efecto fotoeléctrico para convertir las ondas electromagnéticas (radiación) emitidas por el Sol en electricidad. Varias celdas conectadas juntas forman un módulo solar fotovoltaico y estos módulos agrupados forman una instalación solar. La electricidad es consumida o almacenada en el sitio (generalmente en baterías) o transportada por la red de distribución y transmisión de electricidad.

2.2.1 RADIACIÓN E IRRADIACION SOLAR

En física, la radiación solar de un cuerpo corresponde a un flujo de radiación proveniente del sol. La irradiación solar es la cantidad de ese flujo de radiación (medido en términos de potencia) que alcanza una superficie determinada. Se considera en general que el termino irradiación solar se refiere a la cantidad de radiación recibida por la superficie terrestre. Debido a esto generalmente es medida como un factor de la energía recibida por unidad de superficie. La unidad más generalmente utilizada es el Kilowatt-hora (energía) por metro cuadrado (superficie).

Las cálculo mediciones y de satélite muestran que la Tierra (ubicada aproximadamente a 150 millones de kilómetros del sol) recibe una potencia media de radiación 1361 W/m^2 . Es la potencia recibida por una unidad de superficie perpendicular a la radiación justo por encima de la atmósfera de la Tierra. Sin embargo no toda esta energía es aprovechable ya que gran parte de esa energía se disipa antes de llegar a la superficie especialmente al calentar la atmosfera. Asimismo este y otros factores astronómicos y atmosféricos hacen que la cantidad de energía aprovechable varíe mucho debido a la ubicación geográfica y a la fecha del año. Por ejemplo la figura 8 muestra la distribución de la irradiación solar global y la figura 9 muestra la distribución de la irradiación solar en Arequipa en distintos meses del año.

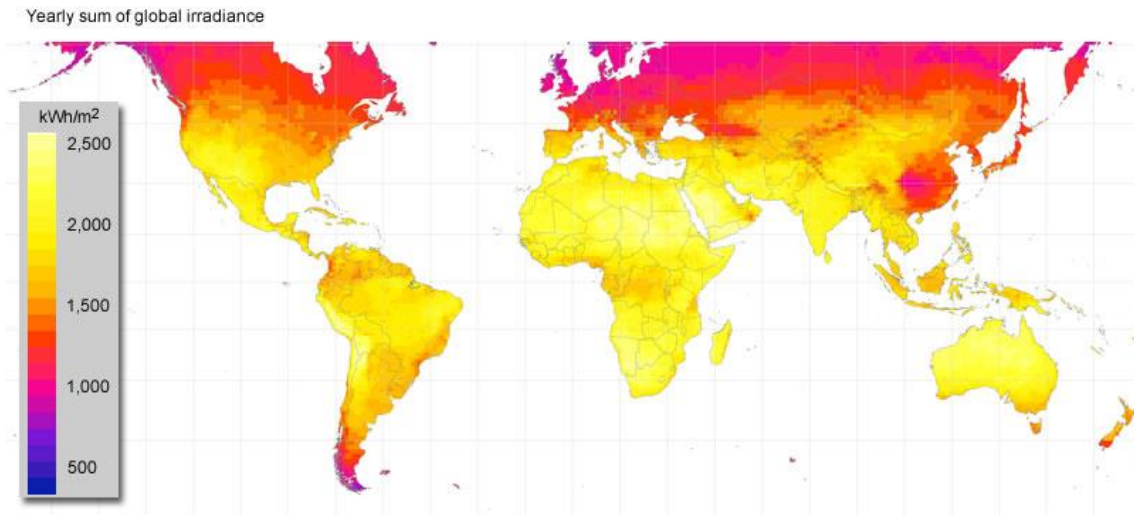


Figura 8 Distribución de la irradiación solar global. (Annual Solar Irradiance, Intermittency and Annual Variations, 2019)

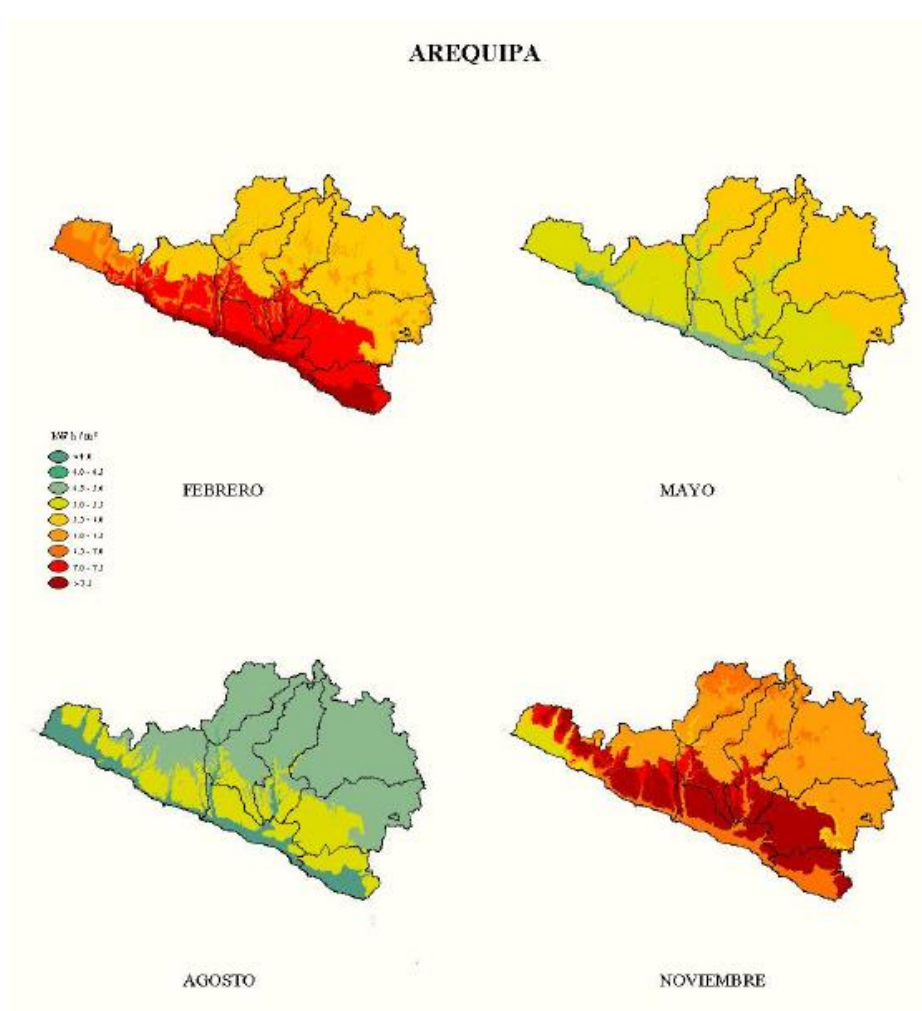


Figura 9 Distribución de la irradiación solar en Arequipa en distintos meses del año. (Senamhi)

2.2.2 FACTORES ASTRONÓMICOS, ATMOSFÉRICOS Y AMBIENTALES

2.2.2.1 GEOMETRIA TIERRA SOL

La declinación de la tierra y su movimiento de traslación respecto al sol son un factor determinante de la cantidad de irradiación solar en un punto determinado de la superficie terrestre (figura 10). Los días son más largos en verano y más cortos en invierno y es por eso que la cantidad de energía diaria aprovechable varía considerablemente entre esas dos fechas. Se debe prestar especial atención a este hecho al momento de dimensionar la capacidad de nuestro arreglo fotovoltaico.

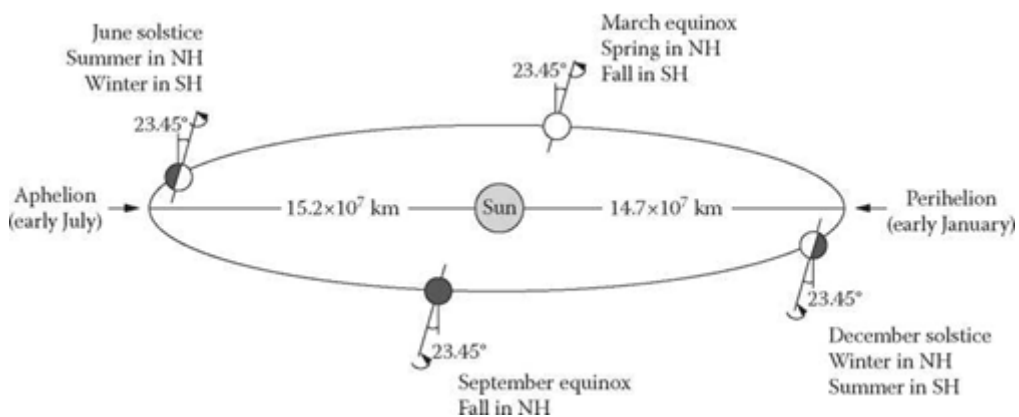


Figura 10 Geometría Sol-Tierra

La geometría sol-tierra también determina el punto en el cielo en el cual se encontrara el sol en determinada fecha para determinado lugar de la superficie terrestre. A lo largo del año (a determinada hora del día) el sol se encuentra en distinta ubicación del cielo. El cambio en esta distribución se puede graficar y forma una figura de 8 conocida como analema solar (Figura 11). Dado que los paneles solares obtienen mayor energía al estar orientados directamente al sol el diseñador de un sistema fotovoltaico deberá tener en cuenta la ubicación del sol para su diseño.

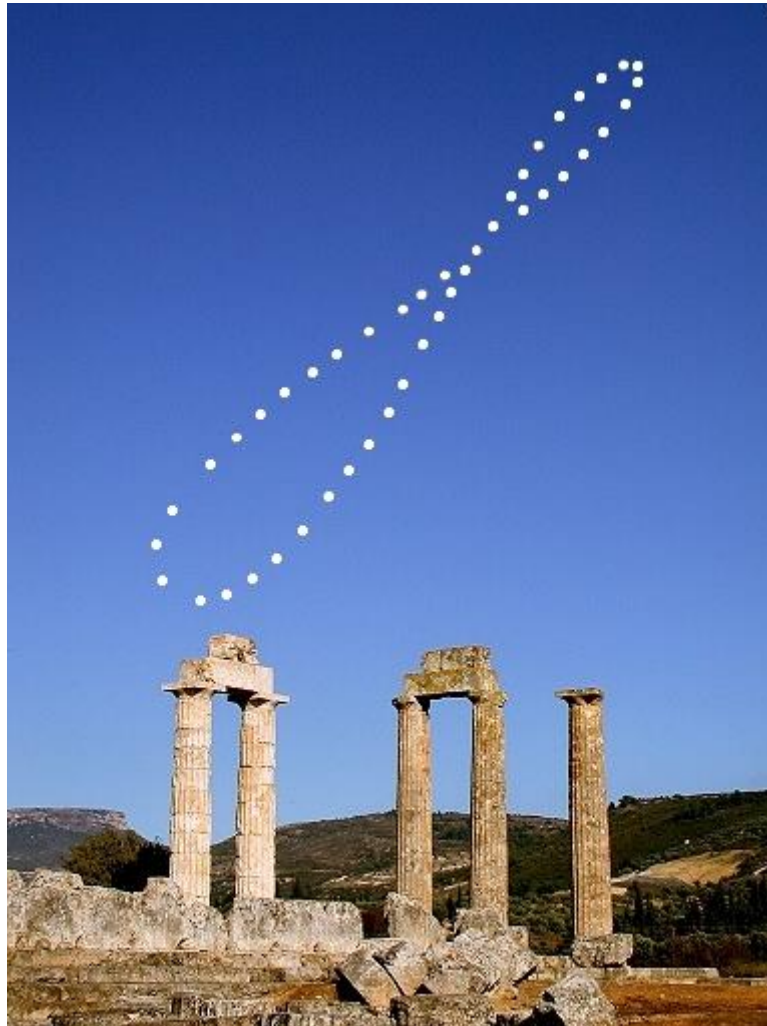


Figura 11 Analema solar en una ubicación en el hemisferio norte

Una manera evidente de mantener dicha orientación es el uso de rastreadores y posicionadores solares en nuestro diseño (figura 12) sin embargo el consumo de dichos sistemas podría exceder la ganancia de su uso y aumentar los costos hasta hacerlo poco económico de realizar. La manera más comúnmente utilizada de aprovechar la energía es diseñar el sistema para el mejor ángulo óptimo (como se muestra en la figura 13) o variar la orientación e inclinación del sistema periódicamente a lo largo del año.

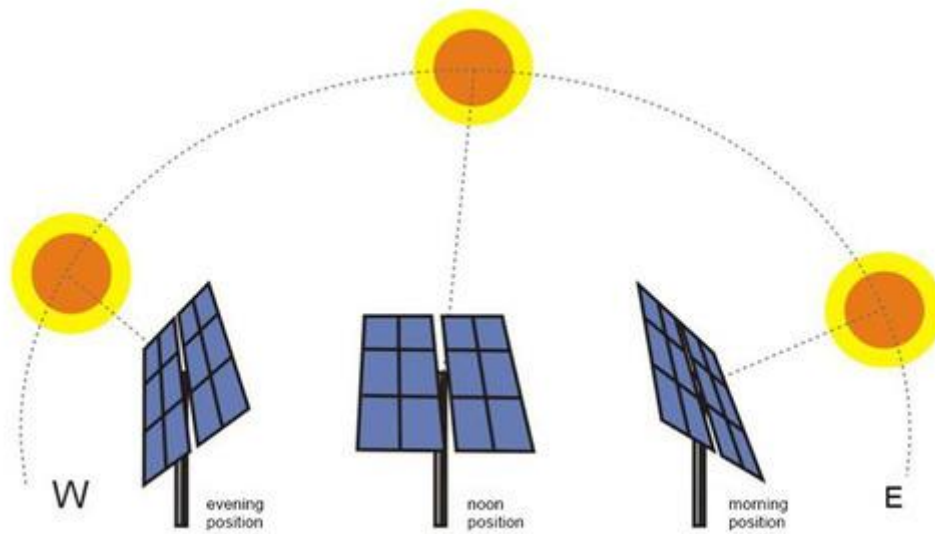


Figura 12 Rastreador Solar

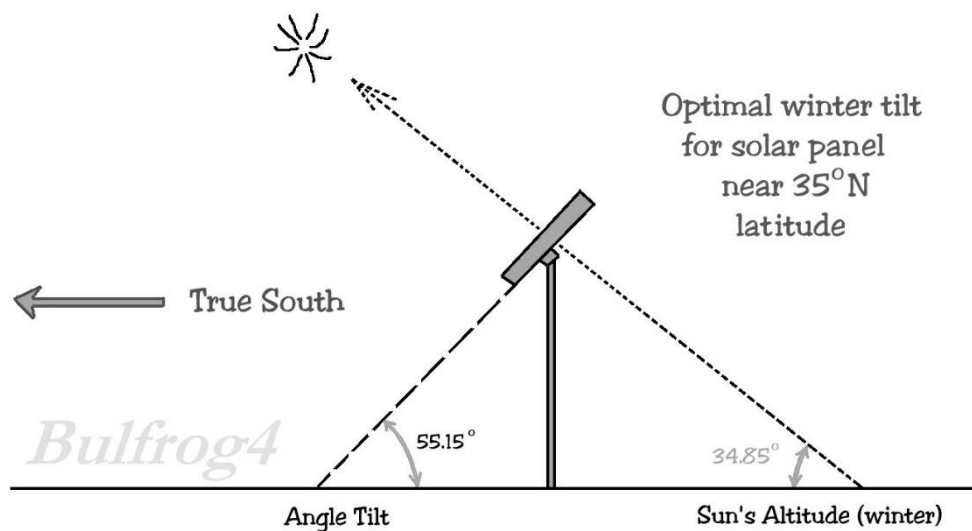


Figura 13 Inclinación de panel solar

2.2.2.2 ABSORCIÓN ATMOSFERICA

La luz solar sigue diversos caminos para llegar al panel solar (figura 14). La mayor parte de ella es absorbida (o difuminada) por la atmosfera, especialmente por la humedad o las nubes presentes, esta llega al panel en forma de radiación difusa, otra parte llega reflejada desde la superficie terrestre (albedo).

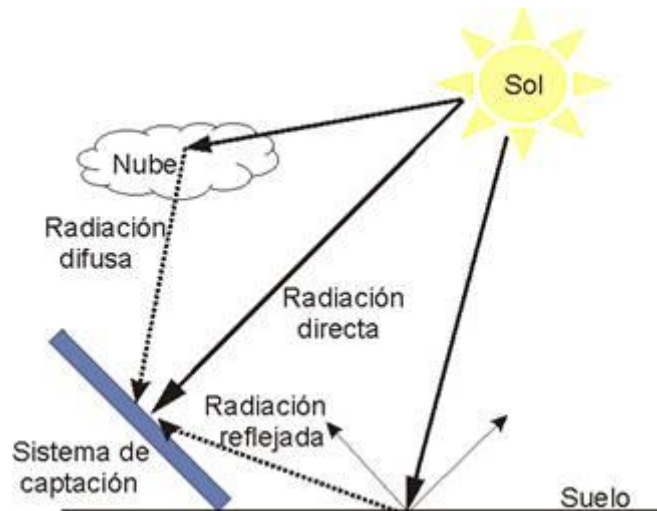


Figura 14 Tipos de radiación que alcanzan los paneles fotovoltaicos.

La "radiación directa" también se denomina a veces "radiación de haz" o "radiación de haz directo". Se utiliza para describir la radiación solar que viaja en línea recta desde el sol hasta la superficie de la tierra.

La "radiación difusa" describe la luz solar que ha sido dispersada por las moléculas y las partículas en la atmósfera, pero que todavía ha llegado a la superficie de la tierra.

La radiación directa tiene una dirección definida, pero la radiación difusa va en cualquier dirección. Porque cuando la radiación es directa, todos los rayos viajan en la misma dirección, un objeto puede bloquearlos todos a la vez. Es por esto que las sombras solo se producen cuando se bloquea la radiación directa.

Cuando el cielo está despejado y el sol está muy alto en el cielo, la radiación directa es de alrededor del 85% del total que llega al suelo y la radiación difusa es de alrededor del 15%. A medida que el sol desciende en el cielo, el porcentaje de radiación difusa sigue subiendo hasta alcanzar el 40% cuando el sol está a 10° sobre el horizonte. (Naq, 2006)

Las condiciones atmosféricas como las nubes y la contaminación también aumentan el porcentaje de radiación difusa. En un día extremadamente nublado, casi el 100% de la radiación solar es radiación difusa. En términos generales, cuanto mayor sea el porcentaje de radiación difusa, menor será la insolación total.

La relación directa /difusa varía con la latitud y el clima. El porcentaje de radiación del cielo que es difuso es mucho mayor en latitudes más altas y menor en latitudes más bajas. Evidentemente los lugares más nublados tienen un mayor porcentaje de radiación difusa que directa. Además, el porcentaje de radiación total que es la radiación difusa tiende a ser más alto en el invierno que en el verano en estos lugares más nublados y con mayor latitud. Los lugares más soleados, por el contrario, tienden a tener menos variaciones estacionales en la relación entre la radiación difusa y directa. Como ejemplo la tabla 2.1 muestra el porcentaje de radiación difusa y directa en Londres (gran latitud, clima nublado) y Adén (Baja latitud, clima seco).

Tabla 2 Relación radiación difusa / directa en Londres y Adén (*Michael R. Starr*)

UBICACIÓN	RADIACIÓN DIFUSA	RADIACIÓN DIRECTA
LONDRES EN JUNIO (MES MAS SOLEADO)	50%	50%
LONDRES EN DICIEMBRE (MES MENOS SOLEADO)	90%	10%
ADEN EN MAYO (MES MAS SOLEADO)	28%	78%
ADEN EN DICIEMBRE (MES MENOS SOLEADO)	35%	65%

Esta relación entre la proporción de radiación solar directa y difusa en distintos climas y latitudes es importante para el diseño dado que la radiación difusa generalmente se distribuye de manera bastante equitativa en todo el cielo, la radiación más difusa se acumula cuando los paneles solares se colocan horizontalmente. Es decir a mayor sea la proporción de radiación difusa menos conveniente se hace inclinar los paneles en dirección al sol.

Cuanto más inclinados estén sus paneles solares, menos del cielo se enfrentarán y más de la radiación difusa del cielo se perderán. Si, por ejemplo, sus colectores solares están inclinados en un ángulo de 45°, están alejados de aproximadamente un cuarto del cielo y solo recogerían aproximadamente tres cuartos de la radiación difusa en el cielo.

También es significativo en el sentido de que la nubosidad presente en el día no influye mucho en la cantidad de energía que se reciba dado que esa energía puede llegar de todas maneras a los paneles en forma de energía difusa.

Radiación reflejada

La radiación reflejada describe la luz solar que se ha reflejado en cosas no atmosféricas como el suelo. El asfalto refleja aproximadamente el 4% de la luz que lo golpea y un césped alrededor del 25%. (Center). Sin embargo, los paneles solares tienden a estar alejados de dónde va la luz reflejada y la radiación reflejada rara vez representa una parte significativa de la luz solar que incide sobre su superficie. Una excepción es en condiciones de mucha nieve, que a veces pueden elevar el porcentaje de radiación reflejada bastante alto.

2.2.3 PANELES SOLARES

Un panel solar o un módulo fotovoltaico convierten la luz del sol directamente en energía eléctrica. El módulo consta de muchas células solares conectadas en serie y/o en paralelo y están disponibles en versiones flexibles y rígidas. Los módulos solares rígidos generalmente consisten en celdas solares basadas en silicio, que se montan en un marco de aluminio y están cubiertas por una placa de vidrio (figura 15).

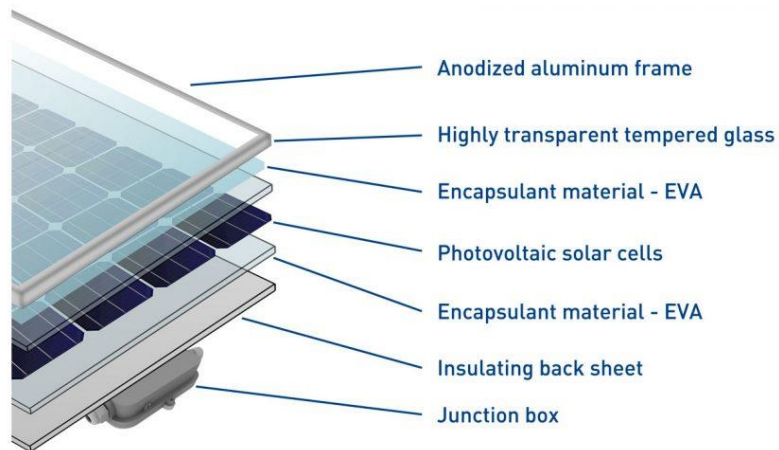


Figura 15 Composición de un panel solar típico.

Los paneles solares en sí están interconectados en sistemas fotovoltaicos individualmente o en grupos y se utilizan tanto en sistemas de la red o para el suministro de energía a la red pública. La totalidad de todos los paneles para un sistema fotovoltaico se llama generador solar.

Los paneles solares pueden conectarse en serie, lo que aumenta el voltaje del arreglo, o en paralelo, lo que aumenta la corriente del arreglo. La figura 16 muestra dichas opciones de configuración.

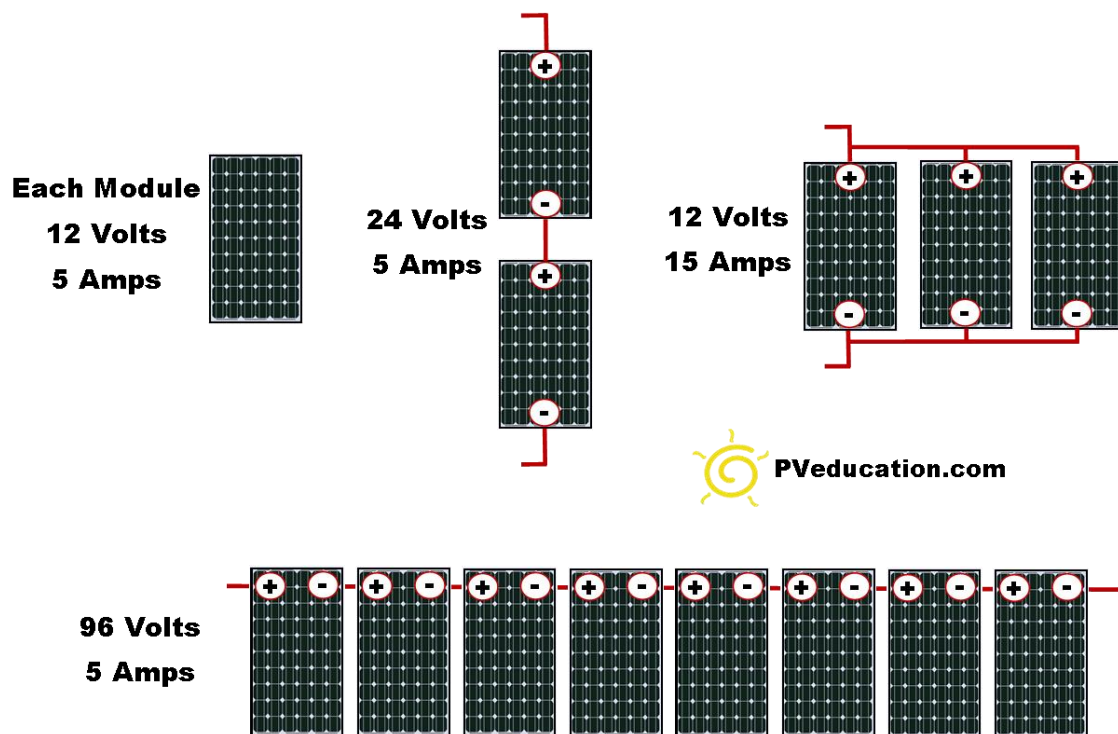


Figura 16 Conexión de paneles solares en serie y en paralelo. (Wiring Solar Panels, 2019)

Un panel solar se define por sus características eléctricas (por ejemplo, voltaje de circuito abierto y corriente de cortocircuito). La característica del módulo solar depende de la interconexión de las células solares. Para mantener una alta eficiencia, es importante que las células solares interconectadas sean lo más similares posible. Para ello se clasifican las células solares.

2.2.3.1 TIPOS DE PANELES SOLARES

Diferentes tipos de paneles solares sirven a diferentes necesidades y propósitos. La clasificación más típica es por generación y se centra en los materiales y la eficiencia de los diferentes tipos de paneles solares. Los más usados comercialmente son los paneles solares de 1ra generación hechos de silicio monocristalino o policristalino. Los paneles solares de 2da o mayor generación solo son usados en aplicaciones avanzadas (vehículos solares, satélites) o en laboratorio.

Los paneles solares de 1ra generación se dividen en:

a) Paneles solares monocristalinos.

Este tipo de paneles solares son fabricados con silicio monocristalino que es el más puro. Se puede reconocer muy fácilmente por el aspecto oscuro uniforme y los bordes redondeados. La alta pureza del silicio hace que este tipo de panel solar tenga uno de los índices de eficiencia más altos, con los más nuevos alcanzando más del 20% y usualmente alcanzando índices de eficiencia del 17%.

Los paneles monocristalinos tienen una salida de alta potencia, ocupan menos espacio y duran más tiempo. Por supuesto, eso también significa que son los más caros de la primera generación. Otra ventaja a considerar es que tienden a verse un poco menos afectados por las altas temperaturas en comparación con los paneles policristalinos.

b) Paneles solares policristalinos

Puede distinguir rápidamente estos paneles porque su superficie presenta cuadrados, sus ángulos no están cortados y tiene un aspecto azul moteado. Se fabrican mediante la fusión de silicio en bruto, que es un proceso más rápido y más barato que el utilizado para los paneles monocristalinos. Esto lleva a un precio final más bajo, pero también a una menor eficiencia de conversión (alrededor del 15%), a una menor eficiencia de espacio y a una vida útil más corta, ya que se ven afectadas por las altas temperaturas en mayor grado.

Sin embargo, las diferencias entre los tipos de paneles solares mono y policristalinos no son tan importantes y la elección dependerá en gran medida de su situación específica. La primera opción ofrece una eficiencia de espacio ligeramente más alta a un precio ligeramente más alto, pero las salidas de potencia son básicamente las mismas.

2.2.3.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS PANELES SOLARES

- a) **Potencia Nominal:** La potencia nominal o potencia especificada (rate power) de un módulo solar se mide en Watt Pico (Wp) se define como la potencia generada por el panel en condiciones de laboratorio STC (condiciones de prueba estándar) con una irradiación de luz de 1000 W / m^2 , temperatura de $25 \text{ }^\circ \text{C}$, ángulo de irradiación de 90 ° y un espectro de luz denominado AM1.5. Generalmente los paneles solares generan potencias inferiores a la potencia nominal debido a las condiciones atmosféricas y a la hora del día. No se puede usar directamente la potencia pico para dimensionar el arreglo fotovoltaico.

- b) **Eficiencia:** La eficiencia de la célula solar se refiere a la porción de la energía en forma de luz solar que se puede convertir a través de la energía fotovoltaica en electricidad por la célula solar bajo condiciones de prueba estándar. Las celdas solares típicas tienen eficiencias entre 14% y 17 %. En laboratorio se han alcanzado eficiencias de cerca al 27%. Este factor es el más indicado para los cálculos de dimensionamiento ya que permiten calcular la energía a ser generada en distintas condiciones de irradiación solar.

- c) **Corriente de corto circuito:** La corriente de cortocircuito es la corriente a través de la célula solar cuando el voltaje a través de la célula solar es cero (es decir, cuando la célula solar está cortocircuitada). Generalmente se escribe como I_{sc} . Las células solares de silicio bajo un espectro AM1.5 tienen una corriente máxima posible de 46 mA / cm^2 . Los dispositivos de laboratorio han medido corrientes de cortocircuito de más de 42 mA / cm^2 , y las células solares comerciales tienen corrientes de cortocircuito entre aproximadamente 28 mA / cm^2 y 35 mA / cm^2 .

- d) **Voltaje de circuito abierto:** El voltaje de circuito abierto, V_{oc} , es el voltaje máximo disponible de una célula solar, y esto ocurre a una corriente de cero.

El voltaje de circuito abierto corresponde a la cantidad de polarización directa en la celda solar debido a la polarización de la unión de la célula solar con la corriente generada por la luz.

La corriente de corto circuito y el voltaje de circuito abierto de un panel solar permiten determinar la llamada curva IV del panel que es de gran importancia para el cálculo del punto óptimo de generación.

2.2.3.3 **CURVAS IV**

Las IV curvas características o simplemente curvas IV de un dispositivo o componente eléctrico, son un conjunto de curvas gráficas que se utilizan para definir su funcionamiento dentro de un circuito eléctrico. Como su nombre lo indica, las curvas características IV muestran la relación entre la corriente que fluye a través de un dispositivo electrónico y la tensión aplicada a través de sus terminales. En el caso particular de los paneles solares dichas curvas se usan para determinar el punto de mayor potencia del panel. La figura 17 muestra una curva VI característica de un panel solar y su relación con la potencia generada por el mismo.

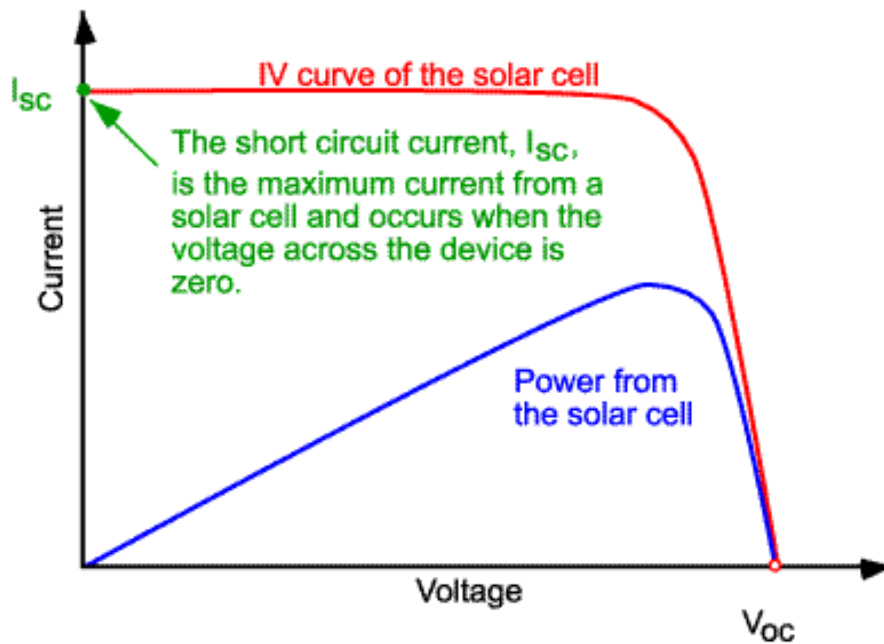


Figura 17 Curva IV característica de un panel solar. (IV Curve of a Solar Panel, 2019)

Como se puede observar en la figura conforme aumenta el voltaje generado por el panel solar la corriente se mantiene más o menos cercana a la corriente de corto circuito pero en un punto la corriente desciende rápidamente. Ese punto (la “rodilla del gráfico” se denomina punto de máxima potencia (como se ve en la línea azul del gráfico) y es el punto en que se desea mantener el funcionamiento del poner para aumentar su eficiencia y rendimiento.

El voltaje generado por el panel a su vez es una función de la cantidad de luz incidente, la cual a su vez varía principalmente por la hora del día y en menor medida por las condiciones atmosféricas. La figura 18 muestra como varían las curvas VI a lo largo del día y como a su vez se desplaza el punto de máxima potencia.

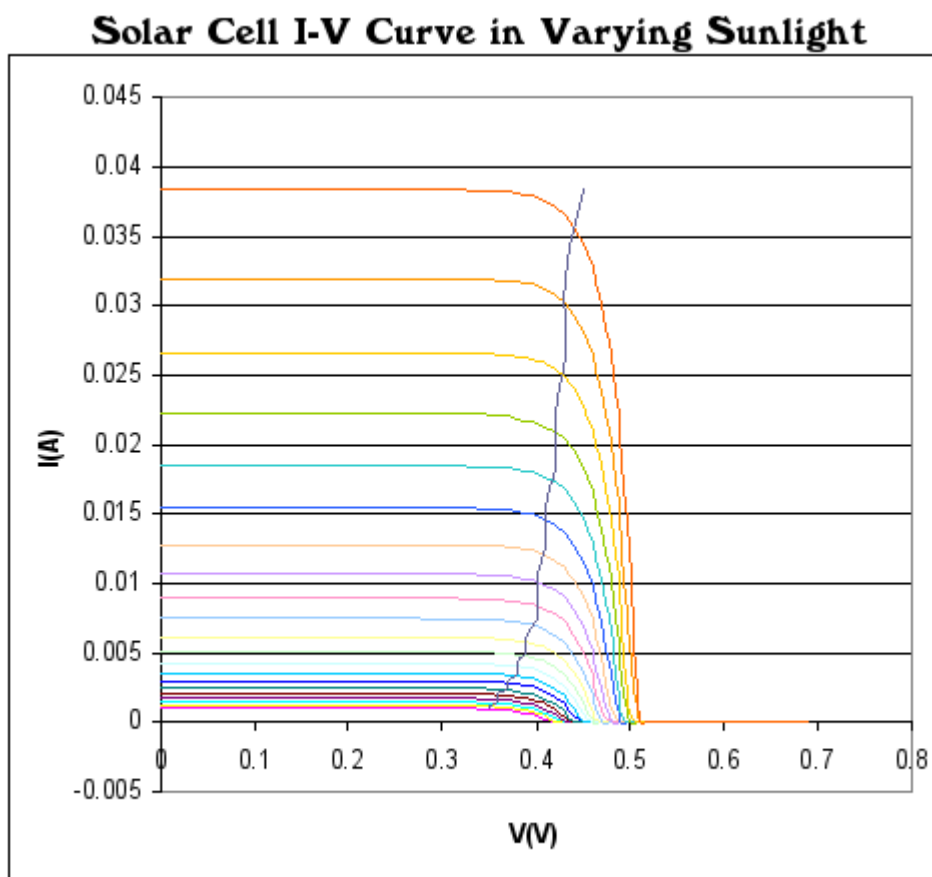


Figura 18 Variación de la curva VI y punto de máxima potencia a lo largo del día

(IV Curve of a Solar Panel, 2019)

2.2.4 BATERÍAS

Una batería es un tipo de acumulador eléctrico obtenido mediante la conexión de fuentes electroquímicas de electricidad / corriente eléctrica (celdas galvánicas, baterías, celdas de combustible) en un arreglo en serie y/o paralelo.

En ingeniería eléctrica, las fuentes de electricidad o células fotoeléctricas se conectan a una batería para almacenar la energía generada. A su vez la carga eléctrica (fuente de iluminación, motores eléctricos, etc) utiliza la energía en forma del voltaje tomado de la batería (con conexión en serie) o de su amperaje o capacidad (con conexión en paralelo). En aplicaciones de energía solar la

interacción entre fuente, baterías y carga es controlada por un “controlador de carga” como se muestra en la figura 19

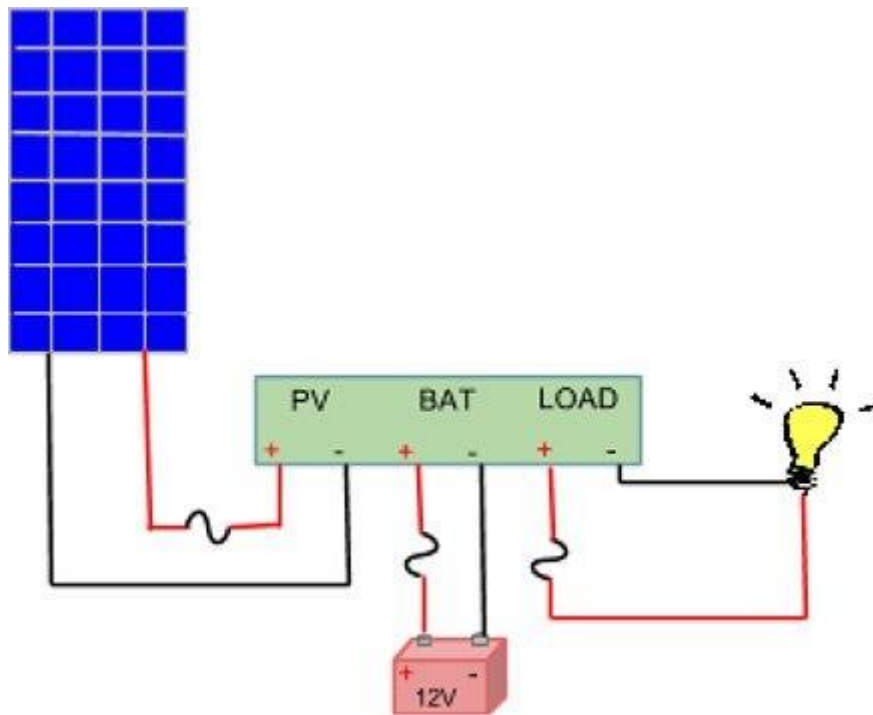


Figura 19 Conexión de acumulador, carga y fuente eléctrica

Se puede considerar como el antecesor de las baterías de celdas electroquímicas conectadas en serie a la Pila de Volta, inventado por Alessandro Volta en 1800, que consistía en celdas galvánicas de cobre y zinc conectadas en serie.

Para aplicaciones solares las baterías se usan como acumuladores eléctricos de la energía generada por el arreglo de paneles fotovoltaicos durante el día para su uso durante la noche (cuando no hay irradiación solar) de ahí la importancia del correcto dimensionamiento y diseño del arreglo de baterías ya que podría ocasionar ausencia de energía en el sistema alimentado, reducida duración de las baterías en sí y la disminución de la rentabilidad y economía del generador.

2.2.4.1 TIPOS DE BATERÍAS

Hay varias opciones diferentes cuando se trata de baterías, y un montón de proveedores especializados en baterías para aplicación solar. Las dos tecnologías principales de baterías que encontrarás son de Acido Plomo y Litio.

Las baterías de plomo ácido son las más establecidas de las dos tecnologías. Aunque se pueden considerar como obsoletas, de hecho, las baterías de plomo y ácido han evolucionado significativamente en los últimos años y siguen siendo la mejor opción para la mayoría de las aplicaciones por su fiabilidad, resistencia y economía.

Las baterías de litio son mucho más caras que las baterías de plomo ácido, pero a menudo tienen una vida útil más larga y son mucho más eficientes en términos de energía. Sin embargo, son mucho más volátiles que las baterías de plomo ácido. Requiere carga especializada y nunca debe permitirse que se sobrecaliente. En general son más difíciles de utilizar y más peligrosas que las batería de Acido-Plomo por lo que su uso no se recomienda en la mayoría de aplicaciones.



Figura 20 Baterías de Litio y Baterías de Plomo-Ácido

Hay cuatro tipos de baterías de plomo-ácido:

- Las baterías "húmedas" requieren revisión y reposición con agua destilada
- Baterías de carbón de plomo, que no requieren mantenimiento y proporcionan una calidad y rendimiento superior pero a un mayor costo
- Las baterías AGM que no requieren mantenimiento, pero tienen una vida útil más corta y son menos adecuados para aplicaciones exigentes.
- Las baterías de gel tampoco necesitan mantenimiento y proporcionan una buena vida útil. Se pueden colocar de lado o utilizar en movimiento.

Tradicionalmente para instalaciones fotovoltaicas grandes se han recomendado baterías "húmedas" de calidad industrial ya que proporcionan el mejor rendimiento a largo plazo al menor costo los últimos modelos a menudo pueden tener una vida útil de 15 a 20 años.

Para una instalación solar sin embargo, una de las últimas innovaciones con las baterías AGM. Su vida útil es considerablemente más corta que las baterías húmedas, a menudo requiere reemplazo después de 5-6 años y significativamente menos en aplicaciones intensivas. Sin embargo son casi de libre mantenimiento y su precio aunque mayor que las baterías húmedas es relativamente barato si se compara con las baterías de gel o de litio y su duración es mayor que las batería de gel.

Las baterías de gel tienen la ventaja de ser enteramente libre de mantenimiento. También están completamente sellados y no emiten gas de hidrógeno. En el pasado, las baterías de gel no han sido particularmente confiables en energía solar, tienden a requerir reemplazo después de 1–2 años. El precio de estas baterías también se redujo significativamente en los últimos años pero son mas caras que las baterías AGM.

La tabla 2.2 compara las tecnologías húmedas, AGM, Gel y Litio en cuanto a ciertas características para su uso en aplicaciones solares.

Tabla 3 Comparación de tecnologías de baterías.

	Húmeda	AGM	Gel	Litio
Tiempo de reemplazo	15-20 años	5-6 años	1-2 años	5-6 años
Precio	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Confiabilidad	Alta	Media	Media	Baja

En general para aplicaciones solares de alta capacidad (generadores industriales o comerciales para alimentar a la red eléctrica) se recomiendan las baterías húmedas mientras que las baterías AGM y Gel se recomiendan para aplicaciones pequeñas y medianas o ubicadas en lugares remotos. Las baterías de litio solo son recomendadas para aplicaciones que requieren una alta densidad de energía (Vehículos eléctricos solares por ejemplo) siempre y cuando dispongan de un sistema de carga muy fiable.

2.2.4.2 CONFIGURACIÓN DE BATERÍAS

Se pueden usar una o más baterías para almacenar energía. Al igual que los paneles solares, puede cablear sus baterías en paralelo para aumentar su capacidad o en serie para aumentar su voltaje. Tal como se muestra en la figura 21. Se recomienda usar el mismo tipo y tamaño de baterías para formar todo el banco de baterías. La mezcla de capacidades y tipos de baterías significará que algunas baterías nunca se cargarán completamente y otras se cargarán más de lo que deberían. Como resultado se pueden acortar significativamente la vida útil de todo el banco de baterías.

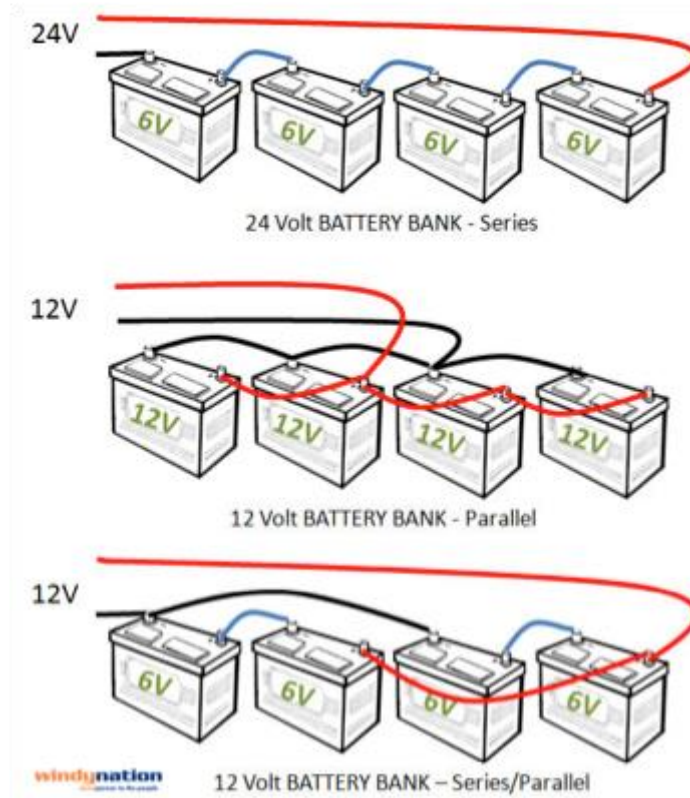


Figura 21 Arreglos en serie y paralelo de baterías.

Arreglos en serie y paralelo de baterías. (WIndy Nation, 2019)

2.2.4.3 VIDA UTIL DE LAS BATERÍAS

La vida útil de las baterías es el tiempo durante el cual las baterías serán útiles en su tarea de acumular energía eléctrica. En algún momento de la vida de un generador energía solar tendrán que ser reemplazadas. Es deseable tener un arreglo de baterías que dure el mayor tiempo posible. Hay dos formas de medir la vida útil de una batería el número de ciclos que expresa la cantidad de veces que la batería puede descargarse a una profundidad particular de descarga y volver a cargarse antes de tener que ser reemplazada y la vida en servicio flotante que muestra cuántos años durará la batería si es almacenado, cargada regularmente, pero nunca usada.

Cada vez que descarga y recarga una batería, hace un ciclo de esa batería. Después de cierto número de ciclos, la química en la batería comenzará a descomponerse y eventualmente la batería necesitará ser reemplazada. El ciclo de vida mostrará cuántos ciclos durarán las baterías antes de necesitar ser reemplazado.

La vida útil se determina a una "profundidad de descarga" (DOD), y los fabricantes normalmente proporcionan una gráfica o una tabla que muestra la cantidad de ciclos de vida y la profundidad de la descarga. Un ejemplo se puede ver en la figura 22

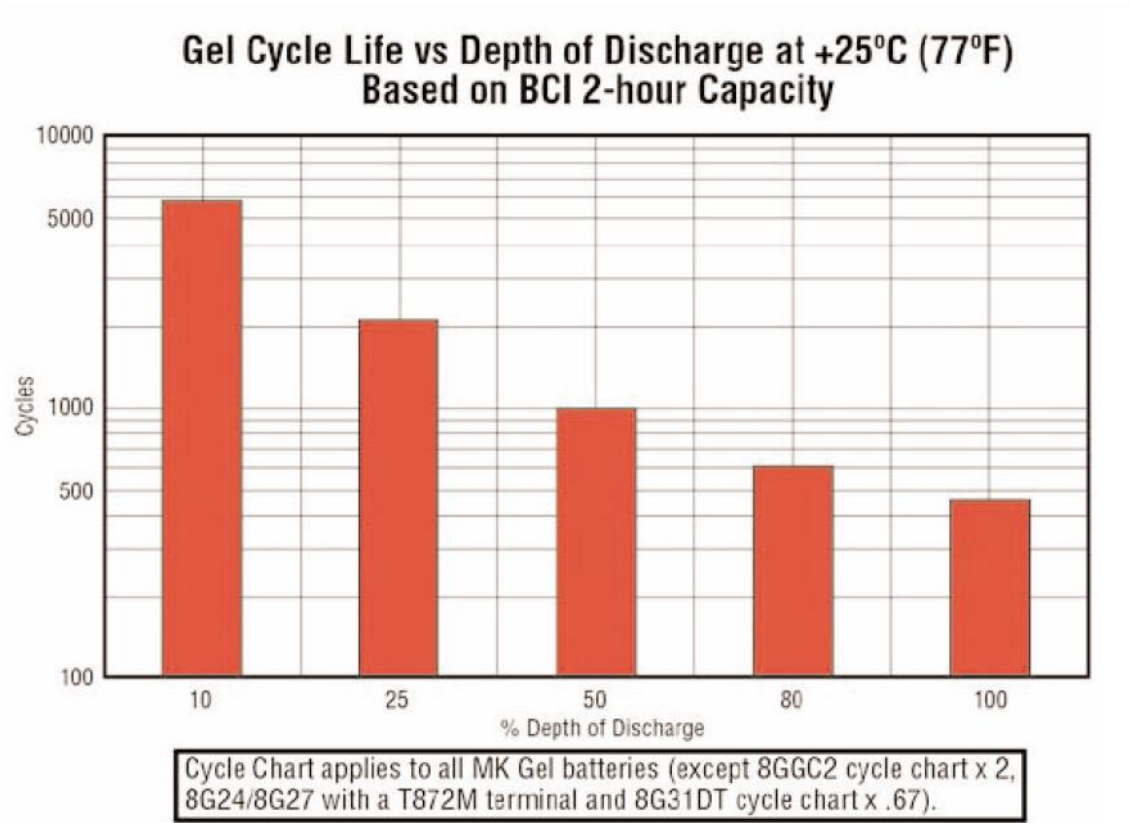


Figura 22 Ciclo de vida de una batería AGM.

Ciclo de vida de una batería AGM. (Batteries)

Como puede ver, la batería durará mucho más tiempo si mantiene su profundidad de descarga baja. Por esta razón, a menudo puede ser mejor especificar una batería más grande, o banco de baterías, en lugar de un conjunto más pequeño de baterías. Se recomienda que se instale suficientes baterías para asegurarse de que su sistema no descargue las baterías más del 50% de su capacidad si usa ácido de plomo o el 75% de su capacidad si se utiliza ion de litio.

Otros beneficios de los bancos de baterías grandes son que tienen más flexibilidad con su consumo de energía: si se necesita usar electricidad por unos días más de los originalmente planeados se puede hacer esto sin quedarse sin energía.

Las baterías se degradan con el tiempo: una batería que se acerca al final de su vida útil solo tiene un 70-80% de la capacidad de una batería nueva. Dimensionado en exceso el arreglo de baterías se puede asegurar que el sistema no fallará en los próximos años a medida que las baterías se agoten.

2.2.5 CONTROLADOR DE CARGA

El controlador solar cuida las baterías y previene su sobrecarga por el arreglo de paneles o los dispositivos que se estuviesen conectados a las baterías. Muchos controladores solares también incluyen una pantalla LCD de estado para que pueda verificar el estado de carga actual de la batería y cuánta energía está generando el arreglo de paneles. Los controladores solares más caros pueden tener la opción de un enlace WiFi o Bluetooth y una aplicación para ejecutar en un teléfono móvil, para que pueda monitorear el rendimiento de su sistema.

La elección de controlador solar dependerá de cinco cosas:

- Voltaje del sistema: Es el voltaje al cual se conecta la carga, generalmente son múltiplos de 12 Voltios ya que la mayor parte de baterías entregan ese voltaje. Los cargadores suelen trabajar a 12, 24 o 36 Voltios de corriente continua.
- El tipo de baterías que está utilizando (especialmente importante si está planeando usar baterías de litio).
- La corriente del arreglo de paneles solares (medida en amperios).
- La corriente máxima de la carga (medida en amperios).
- El nivel de detalle que necesita de la pantalla de estado.

Todos menos los controladores solares más baratos proporcionan información básica en una pantalla LCD. Permite ver cuánta potencia ha generado en comparación con cuánta energía está utilizando y también puede mostrar la carga actual almacenada en la batería. Algunos controladores solares incluyen información más detallada que permite comparar la generación y uso de energía.

2.2.5.1 TIPOS DE CONTROLADORES DE CARGA

Hay tres tipos diferentes de controladores de carga solar, que son:

- a) **Controles simples de 1 o 2 etapas:** Tiene transistores de derivación para controlar el voltaje en uno o dos pasos. Básicamente, este controlador corta el panel solar cuando se llega a un cierto voltaje. Su principal ventaja es su sencillez y su solides es tan simple que es muy difícil que se averíe. Es el tipo de controlador mas antiguo y mas económico además de ser muy sencillo de fabricar.
- b) **PWM (Pulse Width Modulated o Modulación por Ancho de pulso):** Los controladores de carga más modernos utilizan la Modulación de ancho de pulso (PWM) para disminuir lentamente la cantidad de energía aplicada a las baterías a medida que las baterías se acercan cada vez más a una carga completa. Este tipo de controlador permite que las baterías se carguen más completamente con menos tensión en la batería, lo que prolonga la vida útil de la batería. También puede mantener las baterías en un estado completamente cargado (llamado "flotante") por tiempo indefinido. Este tipo de controladores es más complejo aunque relativamente económico.
- c) **Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT):** el controlador de carga solar MPPT es el mejor de los sistemas solares actuales. Estos controladores realmente identifican el mejor voltaje de trabajo y el amperaje del arreglo de paneles solares al seguir el punto de mayor potencia para cada condición dada. Tal como se vio en la sección 2.2.3.2

el punto de máxima potencia es el punto máximo de voltaje antes de que empiece a decaer la corriente en una curva VI. Es decir la “rodilla” de cada curva VI. Al seguir continuamente dicho punto (la curva azul en la figura 17) el controlador maximiza la eficiencia del arreglo de paneles dando como resultado un 10 a 30% más de potencia en comparación con un controlador PWM. Su precio es mayor pero por lo general merece la pena el gasto para cualquier sistema eléctrico solar de más de 200 vatios.

La figura 23 muestra diversos tipos de controladores de carga.



Figura 23 Tipos de controlador solar. (a) 2 etapas, (b) PWM y (c) MPPT.

2.2.6 CABLEADO ELÉCTRICO PARA APLICACIONES SOLARES

Los sistemas de bajo voltaje pierden una cantidad significativa de energía a través del cableado. Esto es porque las corrientes (amperios) son más altas para compensar la falta de voltaje. La ley de Ohm nos dice que la potencia perdida a través del cable es proporcional al cuadrado del corriente: cuanto mayor es la corriente, mayor es la pérdida de energía. Para superar esta pérdida de energía, debemos aumentar el voltaje o usar cables más gruesos. Donde sea que esté utilizando cableado de bajo voltaje (desde el arreglo de paneles solar hasta controlador y a todos los equipos de corriente continua de bajo voltaje) se asegura el diámetro correcto de cable. Si el tamaño del cable es demasiado pequeño se obtendrá una caída de tensión significativa, los cables también pueden calentarse y, en casos extremos, podría derretirse o provocar un incendio.

Cuando planifique diseños de cable se debe asegurar que estén protegidos contra los daños por el medio ambiente (sol/ lluvia/ viento). Se puede usar un conducto de acero o Tubo metálico eléctrico de pared delgada (EMT) para proteger los cables. En el diseño del sistema para mantener su cable como lo más corto posible. Si tiene varios dispositivos ejecutándose en diferentes áreas físicas se pueden tener múltiples recorridos de cable que se ejecutan en paralelo para mantener el recorrido del cable lo más corto posible, en lugar de extender la longitud de un cable para pasar por múltiples áreas. Al hacer esto, logras dos cosas. En primer lugar, se reduce el total de la longitud del cable y, en segundo lugar, se divide la carga entre más de un circuito. El beneficio de hacer esto es que puede reducir el grosor de cada cable, lo que puede facilitar la instalación.

Se deben utilizar cables de interconexión solar, que tienen un aislamiento mucho más resistente y que están protegidos contra rayos UV, diseñado para soportar altas temperaturas y puede soportar excrementos ácidos de aves. El estándar más común que se debe cumplir es UL 4703 (Figura 24) o UL 854. Adicionalmente la interconexión usualmente utiliza interconectores MC4 (Figura 25).



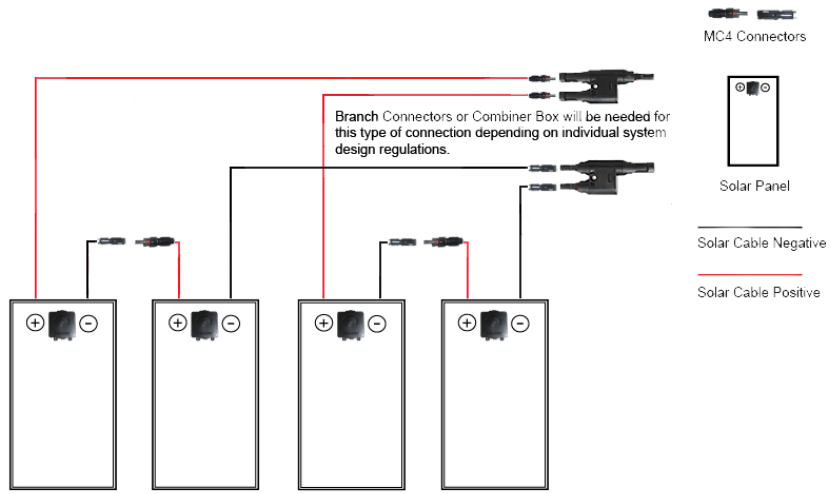
Figura 24 Sección interna de un cable UL4703



Figura 25 Interconexiones MC4

Además se debe considerar la interconexión en serie o en paralelo. Usualmente es recomendable mantener un equilibrio entre mantener bajo el voltaje (interconectando la mayor cantidad posible de paneles o baterías en paralelo) y mantener baja la corriente (interconectando la mayor cantidad posible de paneles o baterías en serie) ya que un voltaje bajo reduce las caídas de voltaje en el sistema y una baja corriente permite seleccionar cables menos gruesos (Figura 26).

Joining Solar Panels in Series Parallel



Disclaimer: This Diagram is for information purposes only. All Solar work must be carried out by a Qualified Solar Installer.

Figura 26 Conexión de paneles solares

Capítulo III

APLICACIÓN DE LA EXPERIENCIA

3.1 DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

El sistema eléctrico de un generador fotovoltaico consiste básicamente de 3 partes, el arreglo de baterías, el arreglo de paneles y el controlador de carga. Adicionalmente se debe considerar para el diseño la carga y tipo de carga a ser alimentada y el cableado e interconexión.

Dado que para cumplir los objetivos del proyecto la estación solar debe imitar una instalación desconectada de la red se determinó que este sería el tipo de instalación a ser utilizada. Esto significa que el sistema además de un arreglo de paneles solares y el controlador de carga contará con un banco de baterías para almacenar la energía para su uso nocturno. Con el fin de tener una carga para el sistema se determinó utilizar el sistema para alimentar dos luminarias del techo del edificio ya presentes, dado que dichas luminarias son alimentadas por corriente 220 VAC se hace necesario utilizar también un inversor de carga para la conversión de energía DC en energía AC.

Adicionalmente para poder hacer pruebas y experimentos en paralelo se deben construir dos generadores idénticos, una al lado de la otra cada una independiente con su propio arreglo de paneles, banco de baterías controlador de carga y alimentando cada una a dos luminarias ya mencionadas.

3.1.1 DETERMINACIÓN DE CARGA Y CAPACIDAD

Para poder realizar el diseño se debe determinar primero la necesidad de energía que debe ser generada. Para ellos cuál es la carga que se debe alimentar y durante qué tiempo debe estar funcionando.

La carga consiste en dos luminarias de 150 Watts de potencia (figura 27)



Figura 27 Reflectores Halógenos

La tabla 3.1 muestra los datos eléctricos de dichos reflectores.

Tabla 4 Datos eléctricos de los reflectores.

Tensión	220/240Vca-50Hz
Potencia:	150 W
Eficiencia	120 lm / Watt
Lumens:	18,000
Grado de protección	IP65

Dado que cada estación debe alimentar una de estas luminarias la carga total de cada estación es de 150 Watts.

Para calcular la capacidad de almacenamiento de energía necesaria se debe determinar primero los tiempos de uso de las luminarias las cuales solo se encienden en las horas nocturnas. El sistema debe poder ser utilizado a lo largo del año por lo que se debe calcular la necesidad para el mayor consumo que va a ser necesario en el año.

La figura 28 muestra la mayor duración del día en Arequipa en el solsticio de verano (21 de diciembre). La figura 29 muestra la menor duración del día en Arequipa en el solsticio de invierno (21 de junio).

2015	Sunrise/Sunset		Daylength		Astronomical Twilight		Nautical Twilight		Civil Twilight		Solar Noon	
	Sunrise	Sunset	Length	Difference	Start	End	Start	End	Start	End	Time	Mil. km
dic												
17	5:09 (115°)	18:15 (245°)	13:06:19	+0:06	3:47	19:36	4:16	19:07	4:45	18:39	11:42 (83,0°)	147,215
18	5:09 (115°)	18:15 (245°)	13:06:25	+0:05	3:48	19:37	4:17	19:08	4:45	18:39	11:42 (83,0°)	147,202
19	5:09 (115°)	18:16 (245°)	13:06:29	+0:04	3:48	19:37	4:17	19:08	4:46	18:40	11:43 (83,0°)	147,189
20	5:10 (115°)	18:16 (245°)	13:06:32	+0:02	3:49	19:38	4:18	19:09	4:46	18:40	11:43 (83,0°)	147,176
21	5:10 (115°)	18:17 (245°)	13:06:33	+0:01	3:49	19:38	4:18	19:09	4:47	18:41	11:44 (83,0°)	147,165
22	5:11 (115°)	18:17 (245°)	13:06:33	< 1s	3:50	19:39	4:19	19:10	4:47	18:41	11:44 (83,0°)	147,154
23	5:11 (115°)	18:18 (245°)	13:06:32	-0:01	3:50	19:39	4:19	19:10	4:48	18:42	11:45 (83,0°)	147,145
24	5:12 (115°)	18:18 (245°)	13:06:29	-0:02	3:51	19:40	4:20	19:11	4:48	18:42	11:45 (83,0°)	147,136
25	5:12 (115°)	18:19 (245°)	13:06:25	-0:04	3:51	19:40	4:20	19:11	4:49	18:43	11:46 (83,0°)	147,128
26	5:13 (115°)	18:19 (245°)	13:06:19	-0:05	3:52	19:40	4:21	19:11	4:49	18:43	11:46 (83,0°)	147,122
27	5:14 (115°)	18:20 (245°)	13:06:13	-0:06	3:52	19:41	4:21	19:12	4:50	18:44	11:47 (83,1°)	147,116
28	5:14 (115°)	18:20 (245°)	13:06:04	-0:08	3:53	19:41	4:22	19:12	4:50	18:44	11:47 (83,1°)	147,111
29	5:15 (115°)	18:21 (245°)	13:05:55	-0:09	3:54	19:42	4:23	19:13	4:51	18:44	11:48 (83,2°)	147,107
30	5:15 (114°)	18:21 (246°)	13:05:44	-0:10	3:54	19:42	4:23	19:13	4:51	18:45	11:48 (83,2°)	147,104
31	5:16 (114°)	18:21 (246°)	13:05:32	-0:12	3:55	19:42	4:24	19:13	4:52	18:45	11:49 (83,3°)	147,102

* All times are local time for Arequipa. They take into account refraction. Dates are based on the Gregorian calendar.

December Solstice (Summer Solstice) is on lunes, 21 de diciembre de 2015, 23:47 in Arequipa. In terms of daylight, this day is 1 hour, 58 minutes longer than on June Solstice. In locations south of Equator, the longest day of the year is around this date.

Figura 28 Mayor duración del día en Arequipa.
(sunrise and sunset times, s.f.)

2019	Sunrise/Sunset		Daylength		Astronomical Twilight		Nautical Twilight		Civil Twilight		Solar Noon	
	Sunrise	Sunset	Length	Difference	Start	End	Start	End	Start	End	Time	Mil. km
jun												
20	6:13 (66°)	17:22 (294°)	11:09:02	-0:01	4:56	18:39	5:22	18:12	5:49	17:45	11:47 (50,2°)	152,017
21	6:13 (66°)	17:22 (294°)	11:09:01	< 1s	4:56	18:39	5:22	18:12	5:49	17:45	11:47 (50,2°)	152,028
22	6:13 (66°)	17:22 (294°)	11:09:02	< 1s	4:56	18:39	5:23	18:13	5:50	17:46	11:48 (50,2°)	152,038
23	6:13 (66°)	17:22 (294°)	11:09:03	+0:01	4:56	18:40	5:23	18:13	5:50	17:46	11:48 (50,2°)	152,048
24	6:14 (66°)	17:23 (294°)	11:09:06	+0:02	4:56	18:40	5:23	18:13	5:50	17:46	11:48 (50,2°)	152,057
25	6:14 (66°)	17:23 (294°)	11:09:10	+0:03	4:57	18:40	5:23	18:13	5:50	17:46	11:48 (50,2°)	152,066
26	6:14 (66°)	17:23 (294°)	11:09:15	+0:05	4:57	18:40	5:23	18:14	5:50	17:47	11:48 (50,3°)	152,073
27	6:14 (66°)	17:23 (294°)	11:09:21	+0:06	4:57	18:41	5:24	18:14	5:51	17:47	11:49 (50,3°)	152,080
28	6:14 (66°)	17:24 (294°)	11:09:29	+0:07	4:57	18:41	5:24	18:14	5:51	17:47	11:49 (50,3°)	152,086
29	6:14 (66°)	17:24 (294°)	11:09:37	+0:08	4:57	18:41	5:24	18:14	5:51	17:47	11:49 (50,4°)	152,092
30	6:14 (66°)	17:24 (294°)	11:09:47	+0:09	4:57	18:41	5:24	18:15	5:51	17:48	11:49 (50,5°)	152,096

* All times are local time for Arequipa. They take into account refraction. Dates are based on the Gregorian calendar.

June Solstice (Winter Solstice) is on viernes, 21 de junio de 2019, 10:54 in Arequipa. In terms of daylight, this day is 1 hour, 58 minutes shorter than on December Solstice. In locations south of Equator, the shortest day of the year is around this date.

Figura 29 Menor duración del día en Arequipa.
(sunrise and sunset times, s.f.)

De estas tablas se determina que en el peor escenario (21 de junio, día más corto) las luminarias tendrán que encenderse durante un periodo de 12 horas y 50 minutos (12.83 horas).

Concluimos que la mayor necesidad de energía es:

150 Watts X 12.83 = 1925 Watts/hora.

3.1.2 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO.

3.1.3 SELECCIÓN DE PANELES

Los paneles solares vienen en diversos tamaños y potencias. El tamaño más común para paneles solares es de aproximadamente 1.6 por 1 metros, ya que es el tamaño de mayor área que puede ser manejado cómodamente por dos operarios. Casi todos los fabricantes ofrecen paneles de tamaño parecido como sus paneles de mayor potencia nominal individual. Se eligió además un panel de tipo monocristalino dado su mayor eficiencia y duración. En nuestro caso se eligió el panel SHARP ND240QCJ ya que cumple con las características mencionadas y es el utilizado en los equipos ya producidos por Vector SRL. La figura 30 muestra la placa de datos de dicho panel, la figura 31 muestra los datos eléctricos del panel.

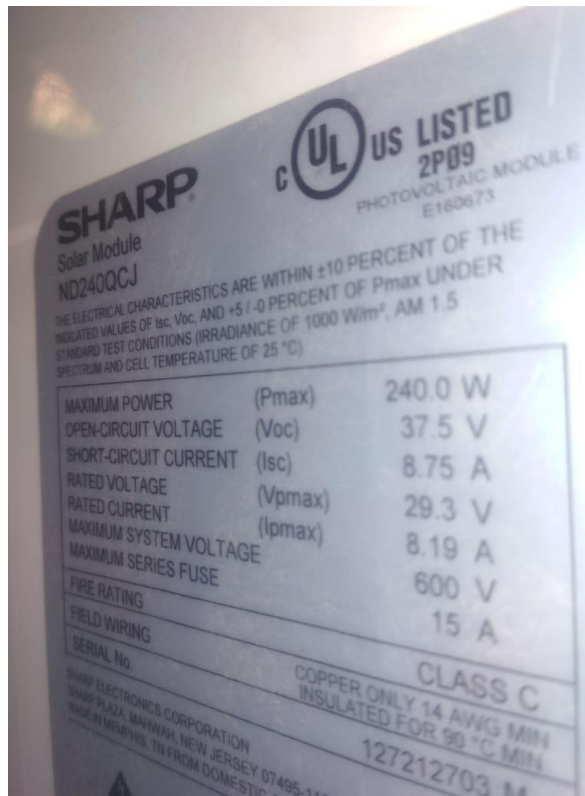


Figura 30 Placa del panel SHARP ND240QCJ

ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
Maximum Power (Pmax)*	240 W
Tolerance of Pmax	+5%/-0%
PTC Rating	216.4 W
Type of Cell	Polycrystalline silicon
Cell Configuration	60 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	29.3 V
Short Circuit Current (Isc)	8.75 A
Maximum Power Current (Ipm)	8.19 A
Module Efficiency (%)	14.7%
Maximum System (DC) Voltage	600 V (UL)/1000V (IEC)
Series Fuse Rating	15 A
NOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.485%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.36%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053%/°C

Figura 31 Características Eléctricas del panel SHARP ND240QCJ. (Sharp)



Figura 32 Paneles solares ND-240QCJ instalados.

3.1.4 DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO

El cálculo de la dimensión del arreglo de paneles solares y del banco de baterías es la parte más importante del diseño ya que su correcta ejecución permite garantizar la operatividad del sistema y su eficiencia.

El dimensionamiento consiste en obtener la cantidad de paneles y baterías necesarios en para obtener y almacenar en un día la energía necesaria para que el sistema opere sin interrupción. Para ellos es necesario primero hacer un análisis de la radiación solar disponible y luego proceder a calcular la cantidad de paneles necesarios para generar dicha energía. Una vez conocido dicho valor se hace el cálculo de cuantas baterías son necesarias para almacenar dicha energía.

a) Análisis de radiación solar.

Dado que se trata de un sistema no conectado a la red se necesita hacer el cálculo de la cantidad de energía que se puede generar diariamente considerando el peor caso, en nuestro caso sería el día de menor duración en el año. Esto nos permite asegurar que incluso en el peor día del año se podrá disponer de la energía necesaria para que el sistema continúe operando. Como vimos en la figura 3.3 es el 21 de junio (solsticio de invierno).

Para contar con el dato de cuanto energía solar estaría disponible en esa fecha utilizamos el Atlas Solar del Perú publicado por el ministerio de energía y minas, particularmente los mapas de irradiación mensual tanto nacionales como departamentales (Anexo 1). La figura 33 muestra la parte de dicho mapa correspondiente al departamento de Arequipa para el mes de junio.



Figura 33 – Irradiación solar diaria promedio mes de Junio (Senamhi)

A partir del Atlas podemos determinar que la irradiación diaria disponible en nuestra locación es de 5 KWh/m² (Killowatts hora por metro cuadrado). Cifra que utilizaremos para nuestro dimensionamiento del arreglo de paneles.

b) Dimensionamiento del arreglo de paneles.

En la sección 3.1.1.1 se determinó que cada estación requiere generar 1925 Watts/hora diariamente. Esta es la cantidad de energía que debería ser generada por nuestro arreglo de paneles. Sin embargo deben considerarse ciertas ineficiencias en la conversión a saber la ineficiencia en los inversores de carga y la ineficiencia de cableado con los cuales se obtiene un factor de seguridad que nos servirá para determina cuanta energía adicional es necesaria para compensar dichas ineficiencias. Usualmente los inversores de carga tienen una eficiencia de conversión de aproximadamente el 90%, la eficiencia del cableado se estima en 95% dado que no se trata de largas distancias entre el panel y el acumulador. A partir de estos dos datos obtenemos nuestro factor de seguridad:

$$\text{Factor de Seguridad} = 1 / (0.9 \times 0.95) = 1.1696 \dots\dots\dots (\text{Ecuación 1})$$

Es decir se necesita generar un 17% más de energía para compensar las ineficiencias mencionadas.

Dado que se requiere generar 1925 Watts hora de energía utilizable, la cantidad de energía a ser generada (considerando ineficiencias) es de:

$$\text{Energía generada} = \text{Factor de seguridad} \times \text{Energía Necesaria}$$

$$\text{Energía generada} = 1.1696 \times 1925 \text{ W-h} = 2251 \text{ W-h} \dots\dots (\text{Ecuación 2})$$

Es decir para operar el sistema se necesita generar 2.3 Kw-h diariamente.

Ahora es necesario calcular cuanta energía puede generar un panel solar durante un día. Esa energía se obtiene a partir de la energía solar incidente por unidad de área de la superficie. Recordemos que no toda esa energía es convertida en energía eléctrica. La cantidad de energía que puede generar un panel viene a ser entonces determinado por el área del panel en metros cuadrados y la eficiencia de conversión del panel tal como se muestra a continuación.

Energía diaria por panel = Energía Incidente X Área del panel X Eficiencia del panel. (Ecuación 3)

Como vimos anteriormente la cantidad de irradiación que incide por metro cuadrado durante un día de junio en Arequipa es de 5 Kw-h. El área y eficiencia del panel pueden ser obtenidas de la hoja de datos del panel (Anexo 2).

Área del panel = 0.994 m X 1.640 m = 1.64 m²

Eficiencia del panel = 14.7%

Entonces la cantidad de energía generada por el panel es de:

Energía diaria por panel = 5000 W-h X 1.64 m² X 0.147

Energía diaria por panel = 5000 W-h X 1.64 m² X 0.147 = 1198 W-h (Ecuación 4)

Para calcular la cantidad de paneles necesarios se divide la cantidad de energía necesaria (Ecuación 2) entre la cantidad de energía generada por panel (Ecuación 4)

Cantidad de paneles = Cantidad de energía necesaria / Energía diaria por panel

$$\text{Cantidad de paneles} = 2251 / 1198 = 1.879 \dots(5)$$

Se utilizarán entonces dos paneles por estación.

c) Dimensionamiento del banco de baterías.

El banco de baterías se calcula en base a la energía total generada y a la energía total requerida. El banco debe ser capaz de almacenar toda la energía generada durante el día más un cierto porcentaje de seguridad que considera el deterioro de capacidad futura de las baterías y para dar un margen de seguridad en caso de avería o desconexión del arreglo de paneles solares.

Para evitar un sobredimensionamiento del banco de baterías se calcula la energía a almacenar considerando el promedio de generación anual. Esto se consigue utilizando la ecuación 4 pero utilizando la irradiación diaria promediada anualmente en la ubicación (desde el atlas solar, figura 34) 6.5 kWh/m².



Figura 34 Irradiación solar diaria promedio anual (Senamhi)

$$\text{Energía diaria por panel} = 6500 \text{ W-h} \times 1.64 \text{ m}^2 \times 0.147 = 1557.62 \text{ W-h} \dots(6)$$

La capacidad de las baterías se mide en Amperios-Hora. Dado que nuestro sistema trabaja en 12 voltios de corriente continua entonces a partir de la energía a almacenar y dado que la potencia eléctrica es igual al voltaje por la intensidad ($P=V \times I$) se puede calcular la capacidad del banco de baterías de la siguiente manera:

Capacidad = Energía a almacenar / Voltaje

$$\text{Capacidad} = 1157.62 \text{ W-h} / 12 \text{ V} = 129.8 \text{ Ah} \quad \dots (7)$$

Considerando un margen de seguridad de un 10% se considera que la capacidad necesaria del banco de baterías es de 142 Ah por lo que se seleccionó la batería RITAR de 12 Voltios y 150 Ah (Anexo 3).

3.1.5 SELECCIÓN DE CONTROLADOR DE CARGA

El controlador de carga a ser seleccionado debe poder manejar el voltaje seleccionad de 12 V. La mayor parte de controladores son capaces de manejar voltajes de 12, 24 y 48 voltios simultaneamente. La restricción mas importante en la selección es la capacidad de corriente que puede manejar el controlador.

La corriente máxima posible que puede generar un panel fotovoltaico es la corriente de cortocircuito (I_{sc}) la corriente que debería poder manejar el controlador entonces se calcula multiplicando el I_{sc} por la cantidad de paneles del arreglo. También se recomienda incluir un factor de seguridad para eventos aislados por ejemplo días con una intensidad solar muy alta (algo muy comun en Arequipa) o reflexione producidas por edificios o espejos de agua. Se considera un afactor de seguridad del 50% dadas las condiciones de irradiación en Arequipa. El I_{sc} se otiene de la hoja de datos del panel (Anexo 2) por lo que entonces la corriente máxima se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Corriente máxima} = I_{sc} \times \text{cantidad de paneles} \times (1 + \text{Factor de seguridad}) \quad \dots (8)$$

$$\text{Corriente máxima} = 26.25 \text{ Amperios}$$

Como vimos en la sección 2.2.4.1 la tecnología mas recomendada para este tipo de instalación es la tecnología MPPT (Rastreo de punto de máxima potencia). Entonces el controlador a seleccionar debe ser de tecnología MPPT poder manejar voltajes de 12 Voltios y corrientes de al menos 26.25 Amperios. Se seleccione el controlador PHOCOS MPPT 100/30 (Figura 3.9) el cual cumple con todos los requisitos (Ver Anexo 4).



Figura 35 Controlador de carga PHOCOS MPPT 10/30

3.1.6 DISEÑO DE TABLERO ELÉCTRICO

Se considera un tablero que permita la instalación del controlador de carga y dos llaves térmicas de protección. Se debe considerar espacio adicional para el equipo propio del proyecto (diagnosticador) y equipo que podría ser instalado posteriormente tal como inversores de carga. Se consideran también un grado de protección IP-65 (po su instalación en exteriores y en un techo) y el uso de rieles DIN por su facilidad de instalación.

Las llaves térmicas son de 40 Amperios (corriente máxima) y se adicionaron portafusibles del mismo grado para mayor seguridad. Las dimensiones del controlador de carga se obtienen de la hoja de datos del controlador (Anexo 4) y son de 180 X 155 mm por lo que se selecciona un tablero compacto Rittal AE 1338.500. La figura 36 muestra el diagrama del tablero, la figura 37 muestra el tablero instalado y la figura 36 el diagrama eléctrico del tablero.

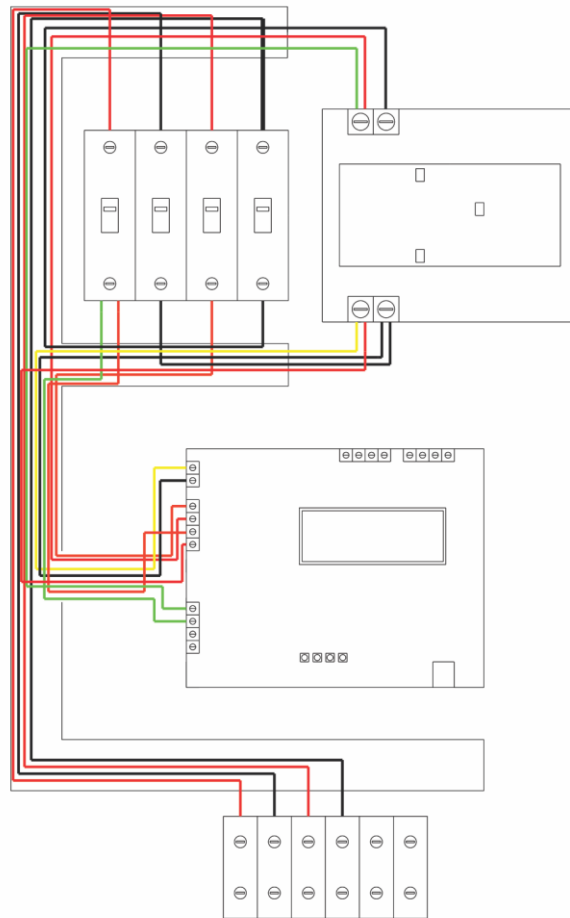


Figura 36 Diagrama del tablero



Figura 37 Tablero Eléctrico

El tablero se instalará al lado del sistema de generación (bastidor de paneles) en un soporte metálico para ubicarlo a una altura adecuada para trabajar en el (Figura 38 y 39).

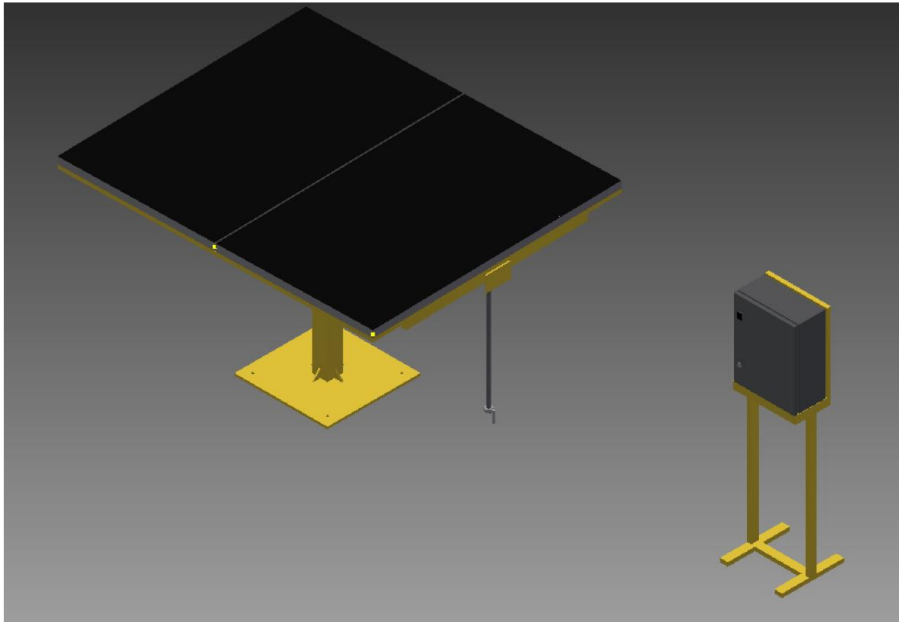


Figura 38 Diagrama 3D de instalación de bastidor de paneles y tablero eléctrico.

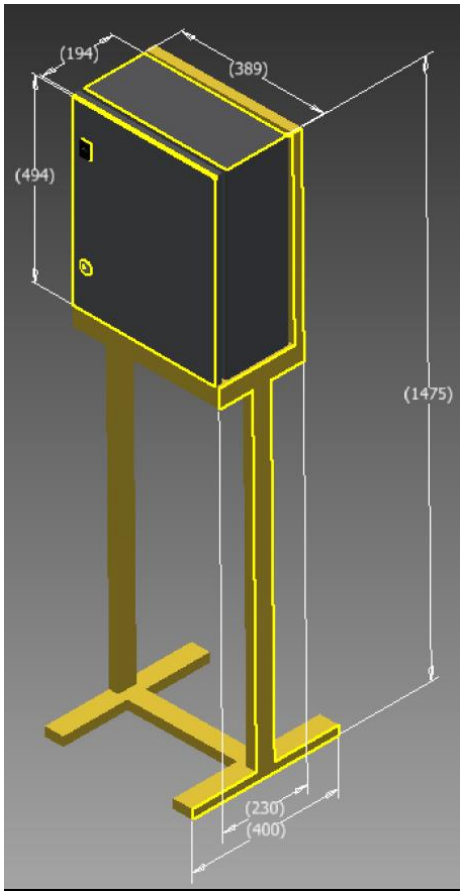


Figura 39 Diagrama 3D de instalación de tablero eléctrico.



Figura 40 Tablero eléctrico en frente de bastidor de paneles.

3.1.7 DIMENSIONAMIENTO DE CABLEADO

A partir del diagrama eléctrico se diseña la interconexión al banco de baterías y a los paneles y se obtienen la cantidad y longitud de los cables que se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 5 Tramos y longitudes de cableado.

Tramo	Longitud	Cantidad
Panel a tablero	5 m	2 (1 por polo)
Baterías a tablero	5 m	2 (1 por polo)

Para obtener el diámetro del cable necesario se determina la pérdida aceptable (usualmente varía entre 1% y 3%) la cual ponemos en 3%. También consideramos el voltaje del sistema que ya determinamos como de 12 Vdc y la corriente máxima que habíamos ya determinado como de 30 Amperios. Se utilizó el sitio <https://www.solar-wind.co.uk> para el cálculo del diámetro requerido. El cable seleccionado entonces es de categoría 5 AWG o 25 mm² de área de sección.

Adicionalmente y tal como se detalló en la sección 2.2.4.2 se seleccionan los cables dentro del estándar UL4703 e interconexiones MC4. También se utilizó tubería conduit para protección contra la intemperie. Las figuras 41 y 42 muestran la instalación.

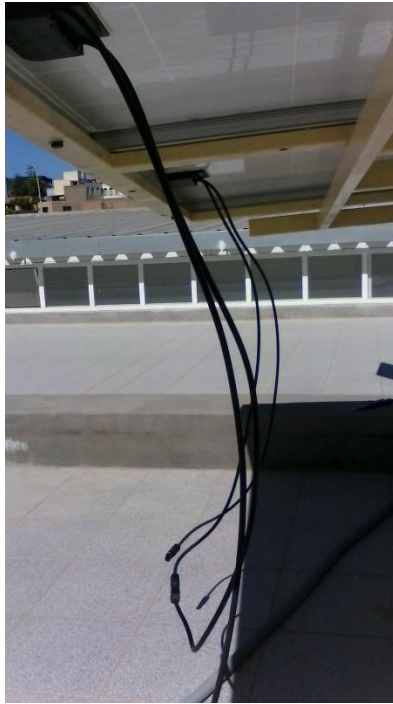


Figura 41 Interconexión de paneles.



Figura 42 Cableado y conduit.

3.2 DISEÑO MECÁNICO

Para el soporte y protección de los componentes del generador fotovoltaico se construyó un bastidor para los paneles solares, un soporte para el tablero eléctrico y una caja de protección para la batería.

3.2.1 BASTIDOR PARA PANELES SOLARES

El bastidor para los paneles solares debía permitir su orientación en 360 grados y la elevación hasta 45 grados con el fin de poder maximizar la energía a lo largo del año y realizar pruebas a distinta orientación y elevaciones.

Las figuras 43 y 44 muestran diversas vistas del bastidor de los paneles solares con el detalle de los dispositivos para su giro (1) y elevación (2).

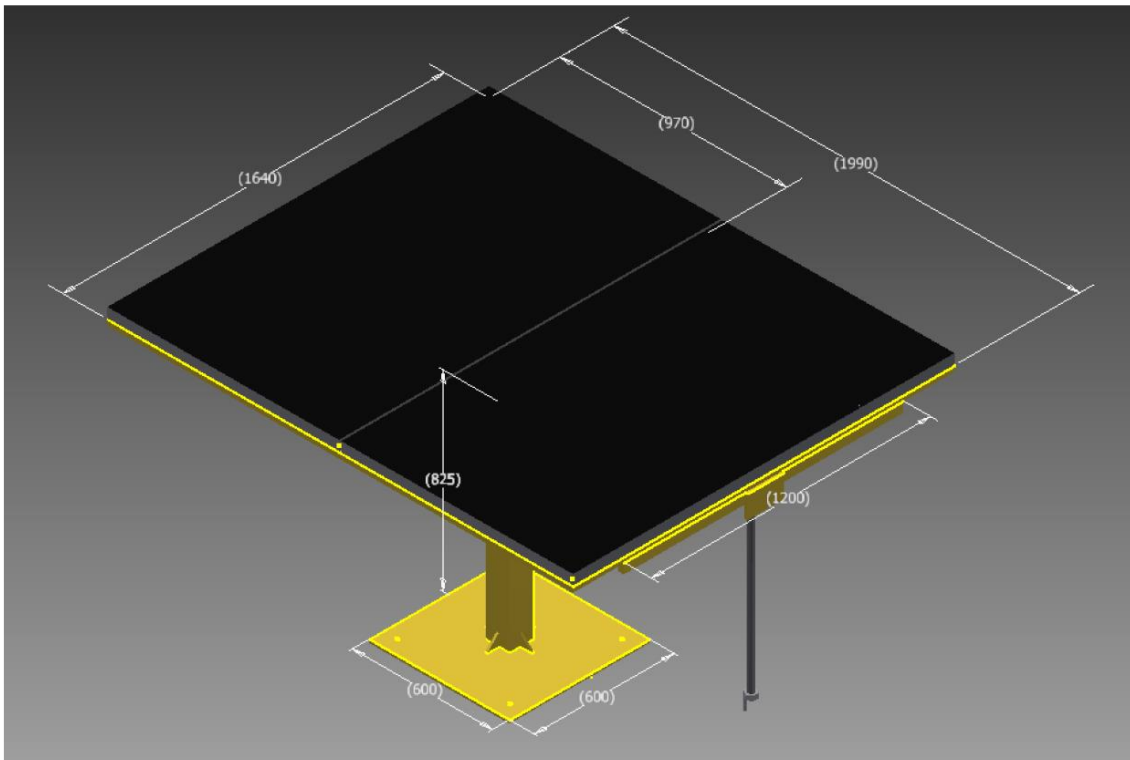


Figura 43 Bastidor de paneles solares acotado.

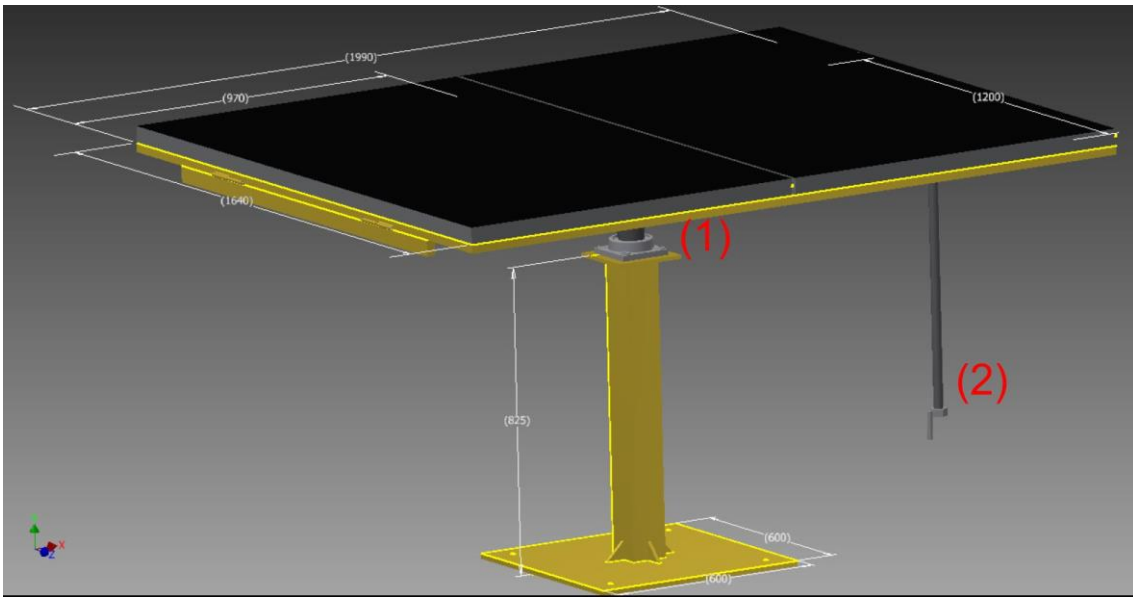


Figura 44 Bastidor de paneles solares acotado indicando los dispositivos de giro y elevación.

La figura 45 muestra el bastidor ya instalado y la figura 46 el detalle del dispositivo para girar el bastidor.



Figura 45 Bastidor Instalado

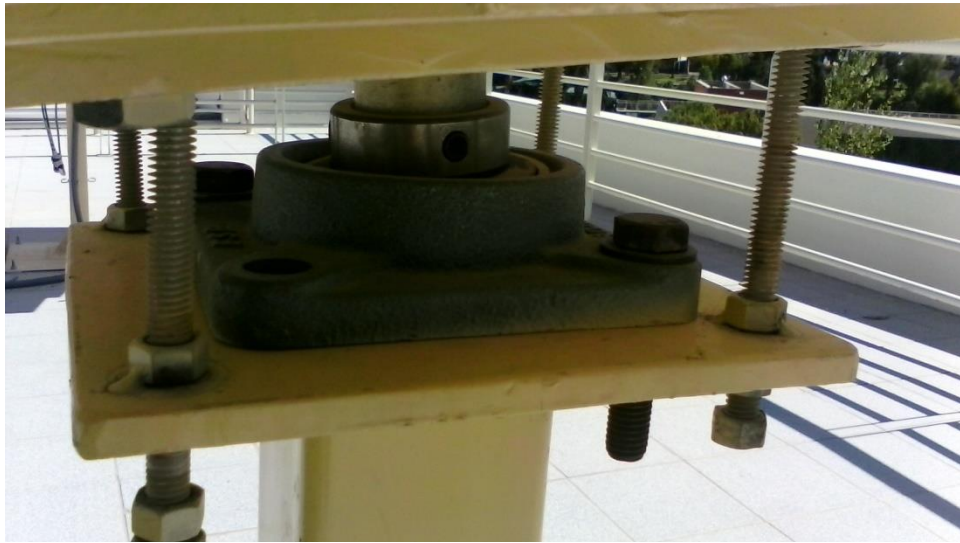


Figura 46 Dispositivo de giro.

3.2.2 SOPORTE PARA TABLERO ELÉCTRICO

Para soportar el tablero eléctrico a una altura adecuada para su acceso por parte del personal de mantenimiento se instala un soporte. La figura 47 muestra el diseño 3D del bastidor y la figura 48 la muestra ya instalada.

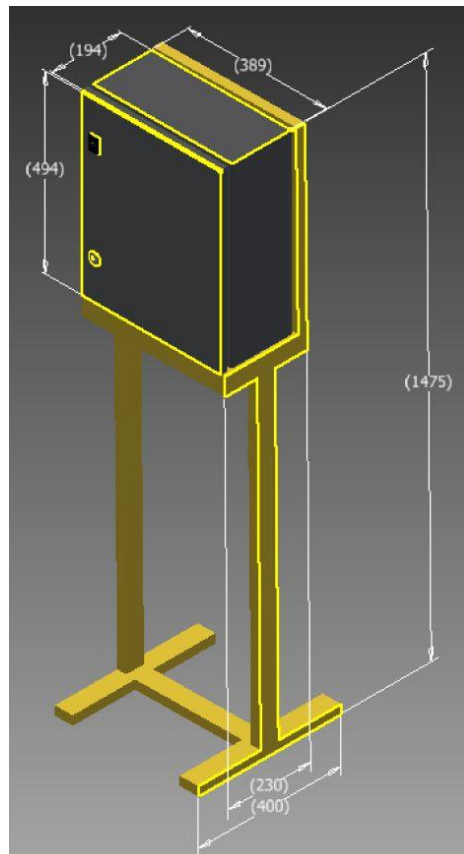


Figura 47 Soporte de tablero.



Figura 48 Soporte de tablero instalado.

3.2.3 CAJA DE BATERÍAS

Para proteger la batería se utiliza una caja metálica, protegida debajo del panel solar, con salidas para el cableado y respiraderos para evitar sobrecalentamientos. La figura 49 muestra la caja instalada.



Figura 49 Caja de baterías.

3.3 ESTUDIO TEÓRICO DEL DESEMPEÑO

Previo a la puesta en operación del sistema y con el fin de generar una línea de base para la operación futura del sistema se realizó un estudio teórico del desempeño que debería tener el generador.

3.3.1 MODELO MATEMÁTICO

El cálculo de la generación diaria se obtiene a partir de la irradiación solar diaria, área del arreglo de paneles (2 paneles) y su eficiencia. Se considera un factor de eficiencia del 90% con el fin de compensar las pérdidas eléctricas o debidas a condiciones atmosféricas.

Energía generada por día = Irradiación solar X Eficiencia X Área de panel X 0.9
.....(9)

La energía consumida se calcula a partir de la duración de la noche en horas por el consumo total en watts.

Energía consumida por día = duración x consumo

3.3.2 SIMULACIÓN DE GENERACIÓN/CONSUMO

A partir de los mapas de irradiación mensual del Atlas Solar del Perú (Anexo 1) se estimó la irradiación solar mensual esperada como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6 Irradiación solar promedio por mes. (*Senamhi*)

MES	IRRADIACIÓN (kWh/m ²)
enero	6
febrero	6.5
marzo	7
abril	6
mayo	6
junio	5
julio	5
agosto	5
setiembre	6
octubre	6.5
noviembre	7
diciembre	6

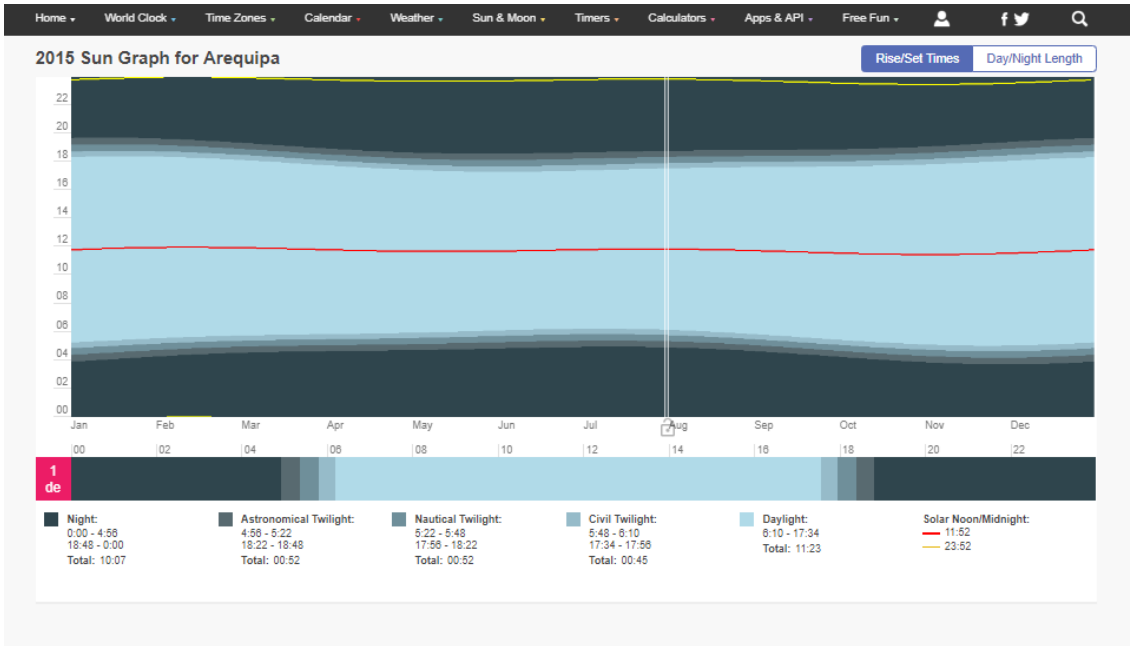
Se estima entonces a partir de la ecuación 9 la energía diaria entregada cada mes (Tabla 7).

Tabla 7 Estimación de la energía diaria que será entregada por el generador

cada mes.

MES	IRRADIACIÓN (kWh/m ²)	Eficiencia del panel	Área de panel (m ²)	Factor de eficiencia	Energía diaria estimada por mes. (kWh)
enero	6	0.147	3.28	0.9	2.603664
febrero	6.5	0.147	3.28	0.9	2.820636
marzo	7	0.147	3.28	0.9	3.037608
abril	6	0.147	3.28	0.9	2.603664
mayo	6	0.147	3.28	0.9	2.603664
junio	5	0.147	3.28	0.9	2.16972
julio	5	0.147	3.28	0.9	2.16972
agosto	5	0.147	3.28	0.9	2.16972
setiembre	6	0.147	3.28	0.9	2.603664
octubre	6.5	0.147	3.28	0.9	2.820636
noviembre	7	0.147	3.28	0.9	3.037608
diciembre	6	0.147	3.28	0.9	2.603664

Para la energía consumida se obtiene la duración promedio del día a partir de las tablas mostradas en el Anexo 5 obtenidas en el sitio web <https://www.timeanddate.com/sun> (figura 50). La tabla 8 muestra la duración del día promedio para cada mes en Arequipa obtenida en el sitio



Diciembre 2015 — Sun in Arequipa

Month: diciembre Year: 2015

2015 dic	Sunrise/Sunset		Daylength		Astronomical Twilight		Nautical Twilight		Civil Twilight		Solar Noon	
	Sunrise	Sunset	Length	Difference	Start	End	Start	End	Start	End	Time	Mil. km
1	5:04 (113°)	18:08 (247°)	13:01:53	+0:26	3:44	19:26	4:12	18:57	4:40	18:29	11:35 (84,6°)	147,512
2	5:04 (113°)	18:05 (247°)	13:02:19	+0:25	3:44	19:26	4:12	18:58	4:40	18:30	11:35 (84,4°)	147,460
3	5:04 (113°)	18:07 (247°)	13:02:43	+0:24	3:44	19:27	4:13	18:58	4:40	18:30	11:35 (84,3°)	147,467
4	5:04 (113°)	18:07 (246°)	13:03:07	+0:23	3:44	19:28	4:13	18:59	4:41	18:31	11:36 (84,2°)	147,446
5	5:04 (114°)	18:08 (246°)	13:03:29	+0:22	3:44	19:28	4:13	19:00	4:41	18:32	11:36 (84,0°)	147,425
6	5:05 (114°)	18:09 (246°)	13:03:50	+0:21	3:44	19:29	4:13	19:00	4:41	18:32	11:37 (83,9°)	147,405
7	5:05 (114°)	18:09 (246°)	13:04:10	+0:19	3:44	19:30	4:13	19:01	4:41	18:33	11:37 (83,8°)	147,386
8	5:05 (114°)	18:10 (246°)	13:04:29	+0:18	3:45	19:30	4:13	19:02	4:42	18:34	11:37 (83,7°)	147,366
9	5:06 (114°)	18:10 (246°)	13:04:47	+0:17	3:45	19:31	4:14	19:02	4:42	18:34	11:38 (83,6°)	147,347
10	5:06 (114°)	18:11 (246°)	13:05:03	+0:16	3:45	19:32	4:14	19:03	4:42	18:35	11:38 (83,5°)	147,329

Figura 50 Resultados para Arequipa de <https://www.timeanddate.com/sun>

MES	Duración del día (horas)
enero	12:58:37
febrero	12:37:34
marzo	12:10:45
abril	11:43:18
mayo	11:20:57
junio	11:10:00
julio	11:15:17
agosto	11:34:25
setiembre	12:00:16
octubre	12:28:01
noviembre	12:52:34
diciembre	13:05:19

Tabla 8 Promedio mensual de duración del día en Arequipa.

A partir de este dato y la potencia consumida se estima el consumo promedio diario para cada mes (tabla 9).

Tabla 9 Energía consumida diaria estimada para cada mes.

MES	Duración del día (horas)	Potencia (watts)	Duración (decimal)	Energía consumida diaria estimada (Wh)
enero	12:58:37	150	12.9769086	1946.53629
febrero	12:37:34	150	12.6262103	1893.931548
marzo	12:10:45	150	12.1792204	1826.883065
abril	11:43:18	150	11.7216759	1758.251389
mayo	11:20:57	150	11.3491846	1702.377688
junio	11:10:00	150	11.1667037	1675.005556
julio	11:15:17	150	11.2546326	1688.194892
agosto	11:34:25	150	11.5737007	1736.055108
setiembre	12:00:16	150	12.0045463	1800.681944
octubre	12:28:01	150	12.4669176	1870.037634
noviembre	12:52:34	150	12.8762222	1931.433333
diciembre	13:05:19	150	13.0884946	1963.274194

3.3.3 DISEÑO DE ESCENARIOS DE PRUEBA

Para validar los resultados de la simulación se utilizaron los datos obtenidos con el sistema de diagnóstico instalado en las estaciones (figura 51). El sistema es capaz de registrar el voltaje e intensidad de corriente de los paneles y baterías. A partir de esos datos es posible obtener los datos de energía generada y consumida por el sistema. Se tomarán los datos diarios y se promediara cada mes con el fin de obtener la energía diaria generada y consumida diariamente promediada mensualmente. Estas cifras serán comparadas con el modelo obtenido anteriormente para validarlos



Figura 51 Diagnosticador y registrador

3.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica consiste en el cálculo de los costos de instalación y puesta en marcha que incluye los costos directos de materiales y mano de obra. También se calcula a partir del cálculo de energía generada el ahorro energético y los periodos de recuperación de la inversión.

3.4.1 COSTOS

La tabla 10 muestra los costos del proyecto.

Tabla 10 Costos del Proyecto

	UNITARIO	CANTIDAD	TOTAL
PANELES SOLARES MOCORISTALINOS SHARP ND240QCJ	S/ 808.00	4	S/ 3,232.00
CONTROLADOR DE CARGA PHOCOS MPPT 100/30	S/ 1,245.00	2	S/ 2,490.00
BATERÍA RITAR 150 AH 12 VDC	S/ 960.00	2	S/ 1,920.00
BASTIDOR PARA PANELES	S/ 1,900.00	2	S/ 3,800.00
CAJA DE BATERÍA	S/ 500.00	2	S/ 1,000.00
SOPORTE DE GABINETE ELECTRICO	S/ 580.00	2	S/ 1,160.00
GABINETE ELECTRICO	S/ 420.00	2	S/ 840.00
CABLE AWG 5 (POR METRO)	S/ 7.00	40	S/ 280.00
MANO DE OBRA (GLOBAL)	S/ 2,500.00	1	S/ 2,500.00
		TOTAL	S/ 17,222.00

Capítulo IV

EVALUACIÓN

4.1 RECOLECCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS

El registrador y diagnosticador de datos instalado en las estaciones registra los datos de corriente y voltaje para las baterías y paneles solares en periodos de cada 30 segundos. Adicionalmente registra los valores de radiación ultravioleta e infrarroja así como ubicación, altura, fecha y hora. Un ejemplo de los datos obtenidos se muestra en el Anexo 6. La figura 52 muestra parte de una tabla de datos. El canal 1 V es el voltaje obtenido desde las baterías, como se ve se encuentra en plena carga dado que son casi las 6 de la tarde y ha pasado poco tiempo desde que las luminarias están consumiendo energía. El canal 2 V es el voltaje de los paneles solares que se encuentra en valores bajos y desciende rápidamente conforme atardece. El canal 1A corresponde a la corriente suministrada por los paneles solares al controlador, como se ve su valor es mínimo o inexistente dado que el controlador ya está proporcionando energía a la carga directamente de las baterías. El canal 2A corresponde a la corriente de la carga la cual al estar encendidas ya los reflectores se encuentra proporcionando energía.

Hora	Fecha	Canal 1 V	Canal 2 V	Canal 3 V	Canal 4 V	Canal 1 A	Canal 2 A	Canal 3 A	Canal 4 A	IR	UV	Latitud	longitud	MSNM
17:54:24	3/10/2016	13	3.8	0	0	0	12.02	0	0	256	0.02	-16.3971	-71.5318	2385.3
17:54:54	3/10/2016	13	3.4	0	0	0	11.53	0	0	256	0.02	-16.3971	-71.5318	2387.4
17:55:24	3/10/2016	13	3	0	0	0	11.83	0	0	255	0.02	-16.3971	-71.5318	2386.7
17:55:54	3/10/2016	13	2.6	0	0	0	11.99	0	0	255	0.02	-16.3971	-71.5318	2385.5
17:56:24	3/10/2016	13	2.3	0	0	0	11.72	0	0	256	0.02	-16.3971	-71.5318	2385
17:56:54	3/10/2016	13	2	0	0	0	11.80	0	0	255	0.02	-16.3971	-71.5318	2383.5
17:57:24	3/10/2016	13	1.8	0	0	0	12.20	0	0	255	0.02	-16.3971	-71.5318	2384.2
17:57:54	3/10/2016	13	1.5	0	0	0	11.90	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5318	2385.6
17:58:24	3/10/2016	13	1.4	0	0	0	11.83	0	0	254	0.03	-16.3971	-71.5318	2386.3
17:58:54	3/10/2016	13	1.2	0	0	0	11.52	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5318	2383.5
17:59:24	3/10/2016	13	1.1	0	0	0	11.72	0	0	254	0.02	-16.3971	-71.5319	2381.3
17:59:54	3/10/2016	13	0.9	0	0	0	12.48	0	0	254	0.02	-16.3971	-71.5318	2382.8
18:00:24	3/10/2016	13	0.8	0	0	0	12.48	0	0	254	0.02	-16.3971	-71.5318	2384
18:00:54	3/10/2016	13	0.8	0	0	0	11.67	0	0	253	0.03	-16.3971	-71.5319	2384
18:01:24	3/10/2016	13	0.7	0	0	0	12.32	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5319	2382.8
18:01:54	3/10/2016	13	0.6	0	0	0	11.60	0	0	254	0.02	-16.3971	-71.5319	2382.3
18:02:24	3/10/2016	13	0.6	0	0	0	12.29	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5319	2381.3
18:02:54	3/10/2016	13	0.5	0	0	0	12.06	0	0	253	0.03	-16.3971	-71.5318	2381.8
18:03:24	3/10/2016	13	0.4	0	0	0	11.58	0	0	252	0.02	-16.3971	-71.5319	2383.6
18:03:54	3/10/2016	13	0.4	0	0	0	11.72	0	0	254	0.01	-16.3971	-71.5319	2383.6

Figura 52 Ejemplo de tabla de datos obtenida del registrador.

4.2 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos se recopilaron desde Julio de 2016 hasta Marzo de 2017 el periodo de registro era diario (producía un archivo digital para excel diariamente) por lo que para comprobar la validez del modelo y simulación se promediaron los datos de cada mes de recolección.

Es necesario obtener el promedio diario de energía generada y consumida en cada mes durante el periodo de pruebas. Eso se obtiene multiplicando los datos de voltaje y corriente de los paneles (Canal 1V y Canal 1A) para cada muestra tomada en el día con lo que se obtiene la potencia instantánea generada. Esa potencia se promedia en periodos de 1 hora para obtener la cantidad de energía generada por el panel en ese periodo.

Como ejemplo la figura 53 muestra una parte la hoja de cálculo utilizada para obtener la potencia generada para el día 14 de setiembre desde las 10 a las 11 de la mañana. La celda Q1313 por ejemplo calcula la potencia instantánea multiplicando la columna D (voltaje del panel solar) por la columna G (corriente del panel solar). La columna R promedia cada 10 minutos la potencia (por ejemplo R1301 y R1321) y la columna S promedia cada hora los promedios de 10 minutos.

The image shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data structure:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Q	R	S
1	Hora	Fecha	Canal 1 V	Canal 2 V	Canal 3 V	Canal 4 V	Canal 1 A	Canal 2 A	Canal 3 A	Canal 4 A	IR	UV	Latitud	longitud	MSNM	Potencia	avrgd10	avrgdH
1300	10:49:13	14/09/2018	13	19	0	0	13.57	0	0	0	4946	3.62	-16.3971	-71.5318	2397.7	257.857143		
1301	10:49:43	14/09/2018	13	15.7	0	0	11.21	0	0	0	6313	4.63	-16.3971	-71.5319	2400.2	176.064286	218.41	
1302	10:50:13	14/09/2018	13	16.8	0	0	12.00	0	0	0	7736	5.7	-16.3971	-71.5319	2395.2	201.6		
1303	10:50:43	14/09/2018	13	19.2	0	0	13.71	0	0	0	9021	6.64	-16.3971	-71.5319	2387.9	263.314286	R1301	
1304	10:51:13	14/09/2018	13	17.1	0	0	12.21	0	0	0	10351	7.61	-16.3971	-71.5319	2384.5	208.864286		
1305	10:51:43	14/09/2018	13	15.8	0	0	11.29	0	0	0	11477	8.41	-16.3971	-71.5319	2383.1	178.314286		
1306	10:52:13	14/09/2018	13	16.4	0	0	11.71	0	0	0	12404	9.03	-16.3971	-71.5319	2385.4	192.114286		
1307	10:52:43	14/09/2018	13	16.2	0	0	11.57	0	0	0	12877	9.33	-16.3971	-71.5319	2386.7	187.457143		
1308	10:53:13	14/09/2018	13	16.3	0	0	11.64	0	0	0	12976	9.37	-16.3971	-71.5319	2386.3	189.778571		
1309	10:53:43	14/09/2018	13	16.1	0	0	11.50	0	0	0	13013	9.37	-16.3971	-71.5319	2384.4	185.15		
1310	10:54:13	14/09/2018	13	15.6	0	0	11.14	0	0	0	13158	9.44	-16.3971	-71.5319	2385	173.828571		
1311	10:54:43	14/09/2018	13	17.3	0	0	12.36	0	0	0	13251	9.45	-16.3971	-71.5319	2385.2	213.778571		
1312	10:55:13	14/09/2018	13	17.7	0	0	12.64	0	0	0	13361	9.52	-16.3971	-71.5319	2386.1	223.778571		
1313	10:55:43	14/09/2018	13	18.2	0	0	13.00	0	0	0	13371	9.51	-16.3971	-71.5319	2387.1	236.6	Q1313	
1314	10:56:13	14/09/2018	13	18	0	0	12.86	0	0	0	13423	9.53	-16.3971	-71.5319	2386.8	231.428571		
1315	10:56:43	14/09/2018	13	18.4	0	0	13.14	0	0	0	13494	9.52	-16.3971	-71.5319	2385.5	241.828571		
1316	10:57:13	14/09/2018	13	18.7	0	0	13.36	0	0	0	13054	9.24	-16.3971	-71.5319	2384.9	249.778571		
1317	10:57:43	14/09/2018	13	19.2	0	0	13.71	0	0	0	12049	8.54	-16.3971	-71.5319	2384.3	263.314286		
1318	10:58:13	14/09/2018	13	19.4	0	0	13.86	0	0	0	10792	7.64	-16.3971	-71.5319	2384.7	268.828571	S1321	
1319	10:58:43	14/09/2018	13	19.2	0	0	13.71	0	0	0	9375	6.54	-16.3971	-71.5319	2384.7	263.314286		
1320	10:59:13	14/09/2018	13	16.3	0	0	11.64	0	0	0	7915	5.52	-16.3971	-71.5319	2387.8	189.778571		
1321	10:59:43	14/09/2018	13	16.6	0	0	11.86	0	0	0	6691	4.62	-16.3971	-71.5319	2387.1	196.828571	217.98392	225.128988
1322	11:00:13	14/09/2018	13	19.3	0	0	13.79	0	0	0	6209	4.26	-16.3971	-71.5319	2387	266.064286		
1323	11:00:43	14/09/2018	13	16.8	0	0	12.00	0	0	0	6160	4.21	-16.3971	-71.5319	2387	201.6	R1321	
1324	11:01:13	14/09/2018	13	16.1	0	0	11.50	0	0	0	6552	4.52	-16.3971	-71.5319	2386.6	185.15		
1325	11:01:43	14/09/2018	13	19.4	0	0	13.86	0	0	0	7354	5.08	-16.3971	-71.5319	2384.9	268.828571		
1326	11:02:13	14/09/2018	13	16.7	0	0	11.93	0	0	0	8842	6.2	-16.3971	-71.5319	2384.9	199.207143		
1327	11:02:43	14/09/2018	13	16	0	0	11.43	0	0	0	10436	7.31	-16.3971	-71.5318	2384.9	182.857143		
1328	11:03:13	14/09/2018	13	19.2	0	0	13.71	0	0	0	11932	8.39	-16.3971	-71.5319	2383.9	263.314286		
1329	11:03:43	14/09/2018	13	17.1	0	0	12.21	0	0	0	12958	9.08	-16.3971	-71.5319	2385.9	208.864286		
1330	11:04:13	14/09/2018	13	15.9	0	0	11.36	0	0	0	13851	9.67	-16.3971	-71.5319	2386.4	180.578571		
1331	11:04:43	14/09/2018	13	16.7	0	0	11.93	0	0	0	14018	9.74	-16.3971	-71.5318	2383.6	199.207143		
1332	11:05:13	14/09/2018	13	17.7	0	0	12.64	0	0	0	14010	9.75	-16.3971	-71.5318	2380.5	223.778571		
1333	11:05:43	14/09/2018	13	18.5	0	0	13.21	0	0	0	14031	9.75	-16.3971	-71.5318	2380.5	244.464286		
1334	11:06:13	14/09/2018	13	19.3	0	0	13.79	0	0	0	14051	9.78	-16.3971	-71.5318	2378.1	266.064286		
1335	11:06:43	14/09/2018	13	19.6	0	0	14.00	0	0	0	14122	9.83	-16.3971	-71.5318	2381	274.4		
1336	11:07:13	14/09/2018	13	19.2	0	0	13.71	0	0	0	14139	9.87	-16.3971	-71.5318	2383.2	263.314286		

Figura 53 Detalle del cálculo en excel

Finalmente los promedios horarios son sumados para obtener la cantidad de watts hora generados durante el día (Figura 54). El proceso es repetido para varios días de cada mes durante el periodo de toma de datos (de Julio a Diciembre 2016) los resultados de esos días se muestran en la tabla 11.

data.xlsx - Microsoft Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA ACROBAT

Normal Ver salt. Diseño Vistas Regla Barra de fórmulas Zoom 100% Ampliar selección Nueva ventana Organizar todo Inmovilizar Ocultar Ver en paralelo Desplazamiento sincrónico Restablecer posición de la ventana Cambia ventanas

Vistas de libro Vistas de página personalizadas Líneas de cuadrícula Títulos Mostrar Ventana

S2882 =SUMA(S2:S2881)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Q	R	S
1	Hora	Fecha	Canal 1 V	Canal 2 V	Canal 3 V	Canal 4 V	Canal 1 A	Canal 2 A	Canal 3 A	Canal 4 A	IR	UV	Latitud	longitud	MSNM	Potencia	avrgd10	avrgdH
2854	23:46:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2388	0	
2855	23:46:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	251	0.02	-16.3972	-71.5318	2390.6	0	
2856	23:47:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5318	2387.3	0	
2857	23:47:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2386.9	0	
2858	23:48:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2387.8	0	
2859	23:48:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2388.5	0	
2860	23:49:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2384.5	0	
2861	23:49:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2383.1	0	0
2862	23:50:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5318	2383.6	0	
2863	23:50:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2385.7	0	
2864	23:51:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2384.6	0	
2865	23:51:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2381.8	0	
2866	23:52:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5318	2381.9	0	
2867	23:52:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2384.4	0	
2868	23:53:06	14/09/2018	12.6	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2383.2	0.00714286	
2869	23:53:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2387.4	0	
2870	23:54:06	14/09/2018	12.6	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2387	0.00714286	
2871	23:54:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2386	0	
2872	23:55:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	254	0.02	-16.3972	-71.5318	2386	0	
2873	23:55:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5319	2383.6	0	
2874	23:56:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5319	2384.6	0	
2875	23:56:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2384.4	0	
2876	23:57:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2386.6	0	
2877	23:57:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2387	0	
2878	23:58:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.03	-16.3972	-71.5318	2387.7	0	
2879	23:58:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5318	2388.2	0	
2880	23:59:06	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2385.7	0	
2881	23:59:36	14/09/2018	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2384.1	0	0.000714286
2882																		0.00047619
2883																		2456.79173

Figura 54 Detalle del cálculo en excel

Tabla 11 WATTS HORA generados para días seleccionados

FECHA	WATTS HORA/DIA
4/07/2016	2168.999686
11/07/2016	2190.769692
18/07/2016	2204.813088
25/07/2016	2299.999285
1/08/2016	2405.250641
8/08/2016	2422.189026
15/08/2016	2456.791726
22/08/2016	2499.999494
29/08/2016	2547.784012
5/09/2016	2605.688194
14/09/2016	2666.285594
21/09/2016	2687.115951
30/09/2016	2773.79711
1/10/2016	2819.269194
8/10/2016	2842.568939
15/10/2016	2890.343207
22/10/2016	2965.093463
29/10/2016	2990.876884
5/11/2016	3043.812758
12/11/2016	2914.837641
19/11/2016	2796.348306
26/11/2016	2492.397403
3/12/2016	2566.797326
10/12/2016	2474.466487
17/12/2016	2372.07477
24/12/2016	2339.801644
31/12/2016	2323.992173

4.3 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La figura 55 muestra gráficamente el estimado de energía generada obtenido en el momento de diseñar el sistema obtenido a partir de la tabla 3.4. La figura 56 muestra la cantidad de energía generada obtenida a partir de la tabla 4.1, es decir de los datos registrados en el periodo de toam de datos de Julio a Diciembre de 2016.

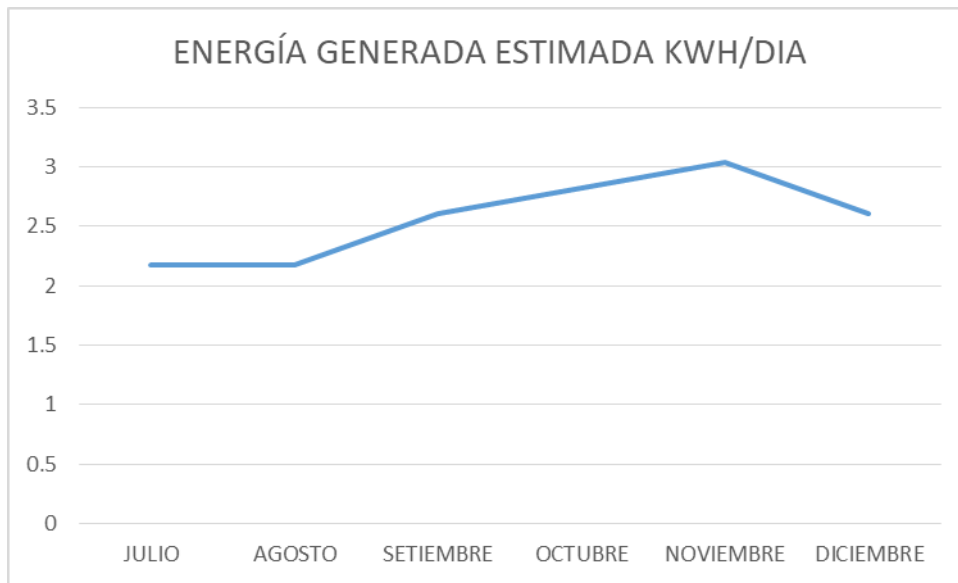


Figura 55 Energía generada estimada

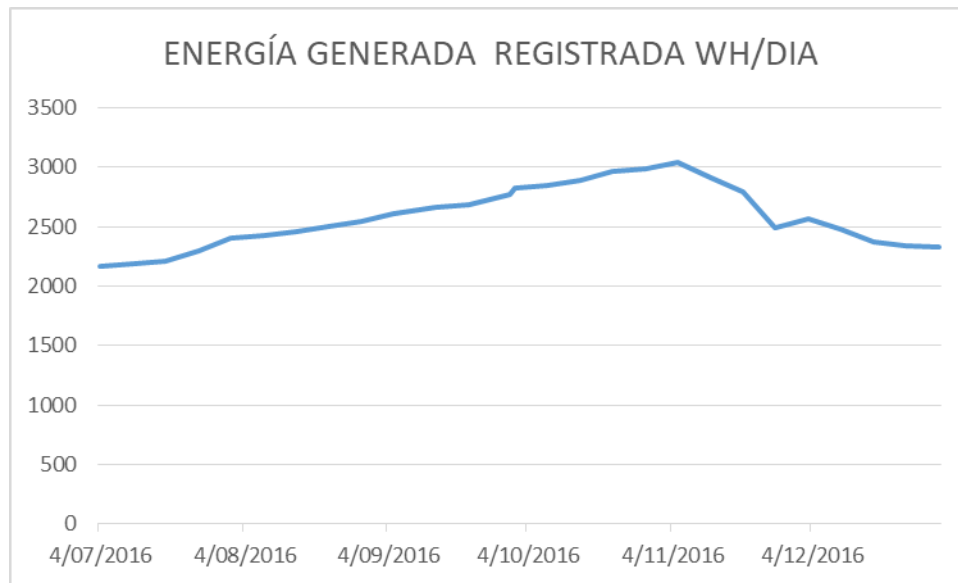


Figura 56 Energía generada registrada

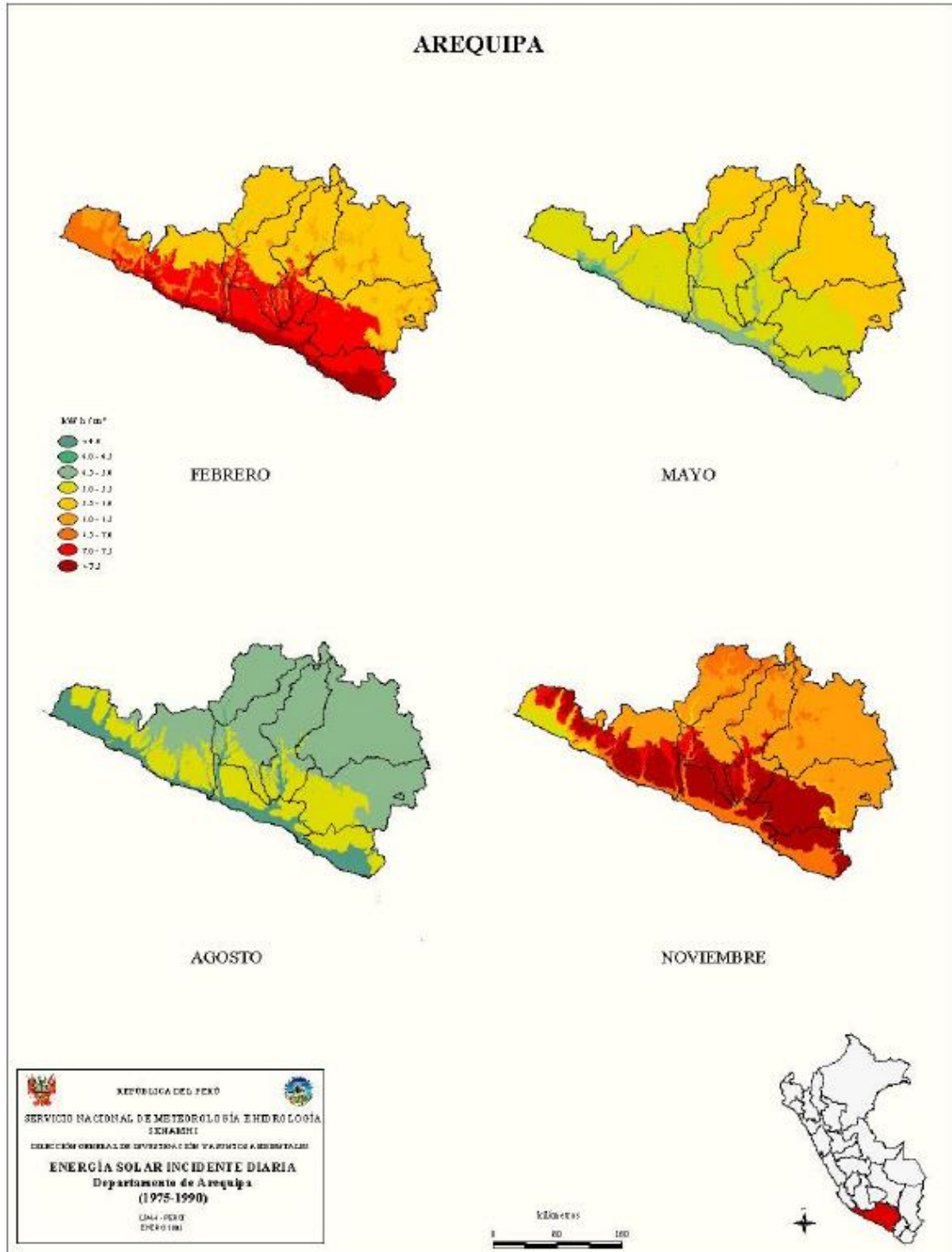
Comparando los gráficos podemos concluir que el sistema opero de acuerdo a los diseñado produciendo la energía que se había estimado a partir de la irradiación promedio en Arequipa (Atlas solar) y las hojas de datos de los componentes.

BIBLIOGRAFIA

- Annual Solar Irradiance, Intermittency and Annual Variations*. (28 de 07 de 2019). Obtenido de <http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/empiricalevidence.php>
- Batteries, M. (s.f.). *Datasheet 8g22nf soalr batteries*.
- Center, C. C. (s.f.). *Performance of PV arrays*. Fairbanks Alaska.
- climate-data.org*. (27 de 07 de 2019). Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/arequipa/arequipa-3078/>
- Ecodebate*. (27 de 07 de 2019). Obtenido de <https://www.ecodebate.com.br/2009/08/08/energia-solar-concentrada-poderia-fornecer-energia-limpa-para-milhoes-de-residencias/>
- IV Curve of a Solar Panel*. (28 de 07 de 2019). Obtenido de <http://www.aurorasolarenergy.com/iv-curve-of-a-solar-panel/>
- Michael R. Starr, W. P. (s.f.). *Photovoltaic power for Europe: an assessment study*;
- Naq, M. (2006). *Enciclopedia de Geomorfología* . Anmol Publications.
- Senamhi. (s.f.). *ATLAS DE ENERGÍA SOLAR DEL PERÚ*.
- Sharp. (s.f.). Datasheet ND-240QCJ.
- sunrise and sunset times*. (s.f.). Obtenido de <https://www.timeanddate.com/sun/peru/arequipa?month=12&year=2015>
- Weatherspark.com*. (27 de 07 de 2019). Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/25845/Clima-promedio-en-Arequipa-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Windy Nation*. (28 de 7 de 2019). Obtenido de <https://www.windynation.com/jzv/inf/Sizing%20a%20Solar%20Power%20System>
- Wiring Solar Panels*. (28 de 07 de 2019). Obtenido de <http://14.portm.augen-netz-nord.de/diag/wiring-solar-panels-in-series-or-parallel.html>

ANEXOS

ANEXO 1
MAPAS DE IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA DEL DEPARTAMENTO DE
AREQUIPA – FUENTE: MINEM



ANEXO 2

HOJA DE DATOS DE PANEL SOLAR SHARP

SHARP®

solar electricity

240 WATT

MULTI-PURPOSE MODULE



ND-240QCJ

MULTI-PURPOSE 240 WATT MODULE FROM THE WORLD'S TRUSTED SOURCE FOR SOLAR.

Using breakthrough technology, made possible by nearly 50 years of proprietary research and development, Sharp's ND-240QCJ solar module incorporates an advanced surface texturing process to increase light absorption and improve efficiency. Common applications include commercial and residential grid-tied roof systems as well as ground mounted arrays. Designed to withstand rigorous operating conditions, this module offers high power output per square foot of solar array.



This module is ideal for large commercial applications, demonstrating financial astuteness and environmental stewardship.

ENGINEERING EXCELLENCE

High module efficiency for an outstanding balance of size and weight to power and performance.

5% POSITIVE POWER TOLERANCE

Count on Sharp to deliver all the watts you pay for with a positive-only power tolerance of +5%.

RELIABLE

25-year limited warranty on power output and 10-year limited warranty on materials or workmanship.

HIGH PERFORMANCE

This module uses an advanced surface texturing process to increase light absorption and improve efficiency.



Sharp multi-purpose modules offer industry-leading performance for a variety of applications.

Tempered glass, EVA lamination and weatherproof backskin provide long-life and enhanced cell performance.

SHARP: THE NAME TO TRUST

When you choose Sharp, you get more than well-engineered products. You also get Sharp's proven reliability, outstanding customer service and the assurance of both our 10-year warranty on materials or workmanship as well as the 25-year limited warranty on power output. With over 50 years experience in solar and over 4.3 GW of installed capacity, Sharp has a proven legacy as a trusted name in solar.

BECOME POWERFUL

240 WATT

ND-240QCJ

Module output cables: 12 AWG PV Wire (per UL Subject 4703)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS	
Maximum Power (Pmax)*	240 W
Tolerance of Pmax	+5%/-0%
PTC Rating	216.4 W
Type of Cell	Polycrystalline silicon
Cell Configuration	60 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	37.5 V
Maximum Power Voltage (Vmp)	29.3 V
Short Circuit Current (Isc)	8.75 A
Maximum Power Current (Ipm)	8.19 A
Module Efficiency (%)	14.7%
Maximum System (DC) Voltage	600 V (UL)/1000V (IEC)
Series Fuse Rating	15 A
NOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.485%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.36%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053%/°C

*Illumination of 1 kW/m² (1 sun) at spectral distribution of AM 1.5 (ASTM E892 global spectral irradiance) at a cell temperature of 25°C.

MECHANICAL CHARACTERISTICS	
Dimensions (A x B x C to the right)	39.1" x 64.6" x 1.8"/994 x 1640 x 46 mm
Cable Length (G)	43.3"/1100 mm
Output Interconnect Cable	12 AWG with *SMK Locking Connector
Hail Impact Resistance	1" (25 mm) at 52 mph (23 m/s)
Weight	41.9 lbs / 19.0 kg
Max Load	50 psf (2400 Pascals)
Operating Temperature (cell)	-40 to 194°F / -40 to 90°C

*Intertek recognized for mating with MC-4 connectors (part numbers PV-KST4; PV-KBT4)

CERTIFICATIONS	
UL 1703, ULC/ORD-C1703, IEC 61215, IEC 61730, CEC, FSEC	



WARRANTY	
25-year limited warranty on power output	
Contact Sharp for complete warranty information	

Design and specifications are subject to change without notice. Sharp is a registered trademark of Sharp Corporation. All other trademarks are property of their respective owners. Cover photo: Solar installation by Pacific Power Management, Auburn CA.

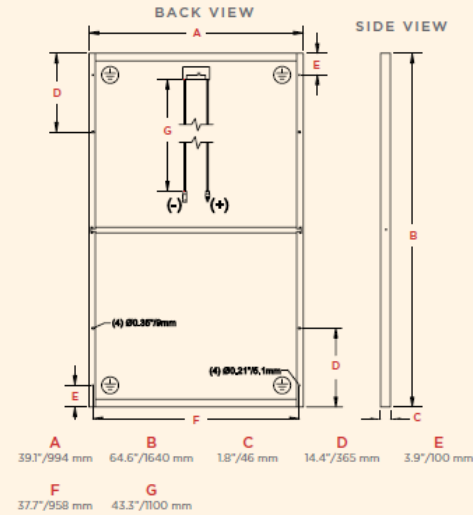


SHARP

SHARP ELECTRONICS CORPORATION
5700 NW Pacific Rim Boulevard, Camas, WA 98607
1-800-SOLAR-06 • Email: sharpsolar@sharpusa.com
www.sharpusa.com/solar



DIMENSIONS



Contact Sharp for tolerance specifications

ISO QUALITY & ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Sharp solar modules are manufactured in ISO 9001:2000 AND ISO 14001:2004 certified facilities.

"BUY AMERICAN"

Sharp solar modules are manufactured in the United States and Japan, and qualify as "American" goods under the "Buy American" clause of the American Recovery and Reinvestment Act (ARRA).

ANEXO 3 : HOJA DE DATOS DE BATERÍA



DC12-134 (12V150Ah)



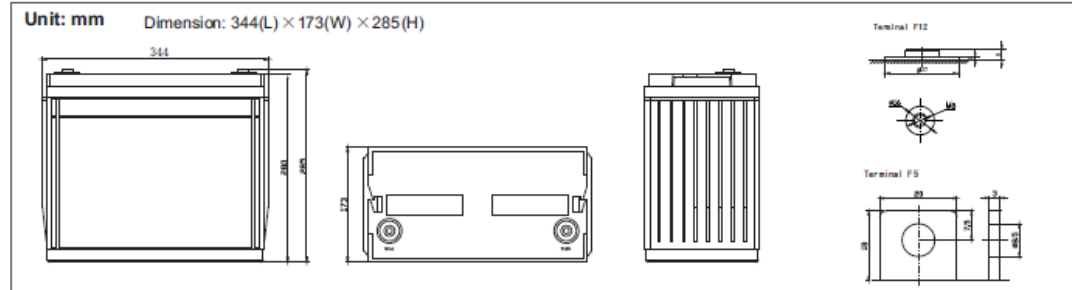
DC (Deep Cycle) series is specially designed for frequent cyclic discharge. By using strong grids and specially designed active material, the DC series battery offers 30% more cyclic life than the standby series. It is suitable for UPS, solar & wind energy, telecom system, electric power system, electric vehicles, golf cars, etc.

Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	134Ah@10hr-rate/150Ah@100hr-rate (to 1.80V per cell @25°C)
Weight	Approx. 41.5 Kg (Tolerance ± 1.5%)
Max. Discharge Current	1340A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 4.0 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Float charging Voltage	13.6 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current	40.2A
Equalization and Cycle Service	14.6 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Terminal F5/F12
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.



Dimensions



Constant Current Discharge Characteristics: A (25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.60V	426.6	311.3	243.1	134.6	83.64	51.64	35.09	28.30	23.49	15.47	13.94	7.38
10.0V	414.2	296.2	238.1	132.9	82.53	50.60	34.44	27.89	23.28	15.41	13.81	7.24
10.2V	402.0	285.8	234.4	130.9	81.74	50.06	34.14	27.62	23.13	15.27	13.67	7.11
10.5V	360.9	263.7	223.1	127.3	80.74	49.41	33.83	27.21	22.94	15.13	13.53	6.97
10.8V	325.8	240.4	205.7	123.1	79.62	49.00	33.44	26.28	22.82	15.07	13.41	6.90
11.1V	278.2	214.9	184.5	118.4	77.73	47.03	32.78	25.90	22.66	14.95	13.26	6.62

Constant Power Discharge Characteristics: W(25°C)

F.V/Time	5MIN	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
9.60V	4412	3315	2674	1541	969.3	605.2	413.2	338.7	281.4	185.3	167.2	88.92
10.0V	4325	3214	2631	1525	960.4	597.8	407.0	333.9	278.9	184.6	165.9	87.38
10.2V	4276	3129	2601	1512	954.7	593.5	405.2	330.8	277.2	183.2	164.4	85.76
10.5V	3892	2914	2481	1481	948.6	586.0	401.9	326.3	275.0	181.6	162.8	84.14
10.8V	3545	2686	2294	1446	936.4	581.6	397.4	315.3	273.7	180.8	161.2	83.33
11.1V	3114	2428	2065	1406	922.4	559.9	390.8	310.8	272.7	179.5	159.4	80.35

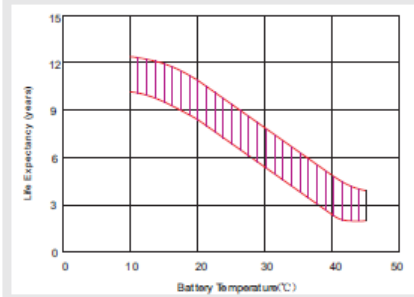
All mentioned values are average values (Tolerance ± 2%).

DC12-134

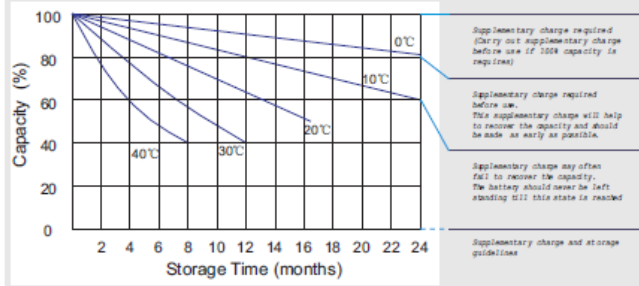
12V150Ah



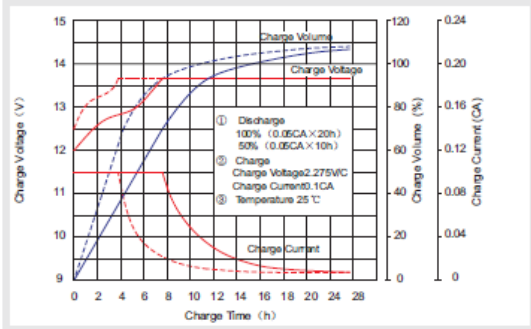
Effect of temperature on long term float life



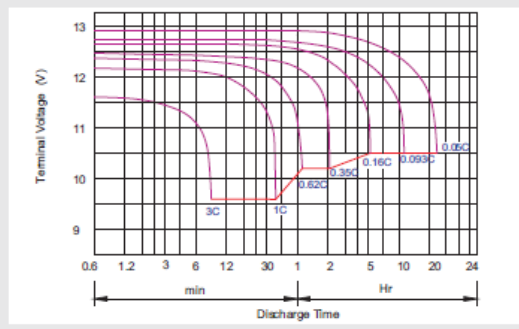
Storage characteristic



Charge characteristic Curve for standby use



Discharge characteristic Curve



Capacity Factors With Different Temperature

Battery Type		-20°C	-10°C	0°C	5°C	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	45°C
GEL Battery	6V&12V	50%	70%	83%	85%	90%	98%	100%	102%	104%	105%
	2V	60%	75%	85%	88%	92%	99%	100%	103%	105%	106%
AGM Battery	6V&12V	46%	66%	76%	83%	90%	98%	100%	103%	107%	109%
	2V	55%	70%	80%	85%	92%	99%	100%	104%	108%	110%

Discharge Current VS. Discharge Voltage

Final Discharge Voltage V/cell	1.75V	1.70V	1.60V
Discharge Current (A)	(A) ≤ 0.2C	0.2C < (A) < 1.0C	(A) ≥ 1.0C

Charge the batteries at least once every six months, if they are stored at 25°C.

Charging Method:

Constant Voltage	-0.2Cx2h+14.4-14.7Vx24h, Max. Current 0.3C
Constant Current	-0.2Cx2h+0.1Cx12h
Fast	-0.2Cx2h+0.3Cx4h

Bolt	M5	M6	M8
Terminal	F3 F4 F13 F18 T25 T28	F8 F11 F12-4 F15	F5 F9 F10 F12 F14 F16
Torque	6-7N·m	8-10N·m	10-12N·m

Maintenance & Cautions

Float Service:
※ Every month, recommend inspection every battery voltage.
※ Every three months, recommend equalization charge for one time.
Equalization charge method:
Discharge: 100% rate capacity discharge.
Charge: Max. current 0.3CA, constant voltage 14.4-14.7V charge 24h.
※ Effect of temperature on float charge voltage: -3mV/°C/Cell.
※ Length of service life will be directly affected by the number of discharge cycles, depth of discharge, ambient temperature and charging voltage.

ANEXO 4

HOJA DE DATOS DE CONTROLADOR DE CARGA

Datasheet_MPPT_ESP

Prelim Version



MPPT 100/30 Registrador del Pico Máximo de Corriente



- La tecnología del registro del pico máximo de corriente aumenta la eficacia de su sistema PV
- Ahora puede utilizar paneles solares menos caros aptos en sistemas conectados a la red eléctrica para sistemas autónomos de 12/24 V
- Protección electrónica (polaridad inversa, sobrecorriente, cortocircuito, sobretensión)
- Alta eficacia
- Compatible con riel DIN
- Toma a tierra negativa

Con la innovadora tecnología de registro del pico máximo de corriente, el registrador MPPT de Phocos garantiza el máximo rendimiento de su módulo solar a todas horas y bajo cualquier condición climática. El MPPT puede aumentar la ganancia de energía de su panel PV (Hasta un 30%).

Cuando se utiliza un Controlador Maestro, el MPPT puede funcionar conjuntamente en sistemas de hasta 16 V. Esto le permitirá aumentar sustancialmente la capacidad de su sistema. Además, la regulación de carga de cada unidad MPPT puede controlarse con un controlador maestro mediante el data bus.

La compensación de temperatura con tres estadios I-U reflejada en la curva del algoritmo de regulación de carga alargará significativamente la duración de su batería.

La posibilidad de utilizar paneles solares menos caros aptos para sistemas conectados a la red eléctrica con un voltaje de circuito abierto de hasta 95 V para sistemas autónomos de 12 V o 24 V, reducirá significativamente el coste de todo el sistema.

TIPO	MPPT 100/30
Voltaje Nominal	12 V/24 V, reconocimiento automático
Nominal corriente de carga de la batería	30 A
Máx. Voltaje de Entrada Voc	95 V
Máx. Corriente de entrada PV	450 W@12 V, 900 W@24 V
Máx. Corriente de carga de la batería	33 A
Eficacia de la conversión de corriente	Hasta un 98 %
Consumo eléctrico en posición de espera	< 30 mW con voltaje de 12 V (<2 mA) < 80 mW con voltaje de 24 V (<3 mA)
Compensación de temperatura	-4 mV/cell.K
Máx. grosor del cable	35 mm ²
Dimensiones	185 x 150 x 115 mm
Peso	1.6 kg
Grados de temperatura	-40 a +50 °C
Tipo de protección	IP22

 Compatible con la Administración de Energía Modular

20090520
Sujeto a cambios sin previo aviso

www.phocos.com



Phocos AG, Germany
Info@phocos.com

Phocos China Ltd., China
Info-china@phocos.com

Phocos India Solar Pvt. Ltd., India
Info-india@phocos.com

Phocos Latin America S.R.L., Bolivia
Info-latinamerica@phocos.com

Phocos Rep. Office Australia, Australia
Info-australia@phocos.com

Phocos Rep. Office Brazil, Brazil
Info-brazil@phocos.com

Phocos Rep. Office Eastern Africa, Kenya
Info-easternafrica@phocos.com

Phocos Eastern Europe S.R.L., Romania
Info-easterneurope@phocos.com

Phocos SEA Pte Ltd, Singapore
Info-sea@phocos.com

Phocos Rep. Office South Africa
Info-sadc@phocos.com

Phocos Tunisia
Info-magreb@phocos.com

Phocos USA
Info-usa@phocos.com

ANEXO 5 TABLAS DE IRRADIACION SOLAR (MUESTRA)

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER_SRB/FLASHFlux/MERRA2/GEOS 5.12.4 (FP-IT) 0.5 x 0.5 Degree Interannual Averages/Summs
Dates (month/day/year): 01/01/2014 through 12/31/2016
Location: Latitude -16.3883 Longitude -71.5355
Elevation from MERRA-2: Average for 1/2x1/2 degree lat/lon region = 2840.39 meters Site = na
Climate zone: na (reference Briggs et al: http://www.energycodes.gov)
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999
Parameter(s):
CLRSKY_SFC_SW_DWN_SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Clear Sky Insolation Incident on a Horizontal Surface (kW-hr/m^2/day)
ALLSKY_SFC_LW_DWN_SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Downward Thermal Infrared (Longwave) Radiative Flux (kW-hr/m^2/day)
KT_SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Insolation Clearness Index (dimensionless)
ALLSKY_SFC_SW_DWN_SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 All Sky Insolation Incident on a Horizontal Surface (kW-hr/m^2/day)
KT_CLEAR_SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Clear Sky Insolation Clearness Index (dimensionless)
-END HEADER-
LAT, LON, PARAMETER, YEAR, JAN, FEB, MAR, APR, MAY, JUN, JUL, AUG, SEP, OCT, NOV, DEC, ANN
-16.38829, -71.53549, KT_CLEAR, 2014, 0.57, 0.71, 0.65, 0.67, 0.73, 0.75, 0.75, 0.75, 0.72, 0.67, 0.71, 0.72,
-16.38829, -71.53549, KT_CLEAR, 2015, 0.60, 0.46, 0.52, 0.61, 0.74, 0.71, 0.75, 0.75, 0.72, 0.69, 0.69, 0.70, 0.70,
-16.38829, -71.53549, KT_CLEAR, 2016, 0.69, 0.54, 0.70, 0.66, 0.77, 0.74, 0.74, 0.74, 0.75, 0.72, 0.67, 0.71, 0.72, 0.71
-16.38829, -71.53549, KT, 2014, 0.57, 0.71, 0.65, 0.67, 0.73, 0.75, 0.75, 0.72, 0.67, 0.71, 0.72, 0.72, 0.71
-16.38829, -71.53549, KT, 2015, 0.60, 0.46, 0.52, 0.61, 0.74, 0.71, 0.75, 0.75, 0.72, 0.69, 0.69, 0.70, 0.70, 0.70
-16.38829, -71.53549, KT, 2016, 0.69, 0.54, 0.70, 0.66, 0.77, 0.74, 0.74, 0.74, 0.75, 0.72, 0.67, 0.71, 0.72, 0.71
-16.38829, -71.53549, ALLSKY_SFC_SW_DWN, 2014, 6.64, 7.78, 7.78, 6.62, 6.02, 5.86, 5.40, 5.55, 6.04, 6.46, 7.53, 8.10,
-16.38829, -71.53549, ALLSKY_SFC_SW_DWN, 2015, 6.80, 5.09, 5.31, 5.73, 5.76, 5.46, 5.55, 6.09, 6.88, 7.41, 7.80,
-16.38829, -71.53549, ALLSKY_SFC_SW_DWN, 2016, 8.07, 5.94, 7.10, 5.87, 5.95, 5.27, 5.52, 6.30, 7.12, 7.70, 8.46,
-16.38829, -71.53549, CLRSKY_SFC_SW_DWN, 2014, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999,
-16.38829, -71.53549, CLRSKY_SFC_SW_DWN, 2015, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999,
-16.38829, -71.53549, CLRSKY_SFC_SW_DWN, 2016, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999, -999,
-16.38829, -71.53549, ALLSKY_SFC_LW_DWN, 2014, 7.77, 7.42, 7.54, 7.46, 6.58, 6.51, 6.49, 6.80, 7.22, 7.24, 7.09,
-16.38829, -71.53549, ALLSKY_SFC_LW_DWN, 2015, 7.78, 8.11, 7.99, 7.68, 6.75, 6.53, 6.32, 6.61, 6.76, 7.18, 7.22,
-16.38829, -71.53549, ALLSKY_SFC_LW_DWN, 2016, 7.51, 8.13, 7.64, 7.44, 6.55, 6.56, 6.59, 6.56, 6.65, 6.96, 6.79,

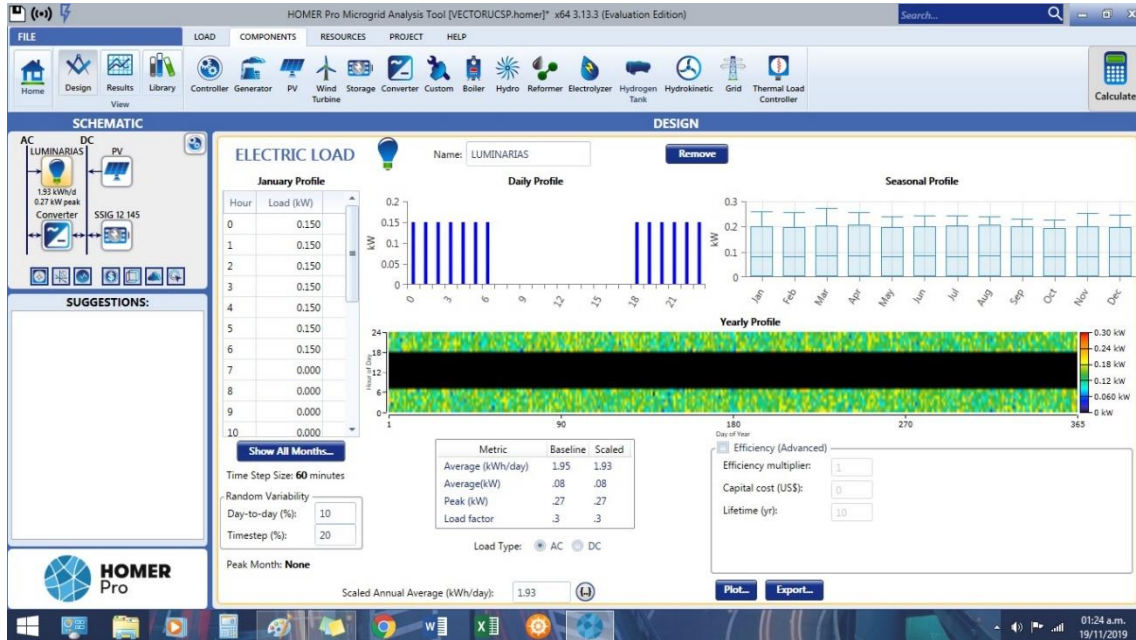
```

ANEXO 6 – DATOS OBTENIDOS DEL REGISTRADOR (MUESTRA 1 HORA)

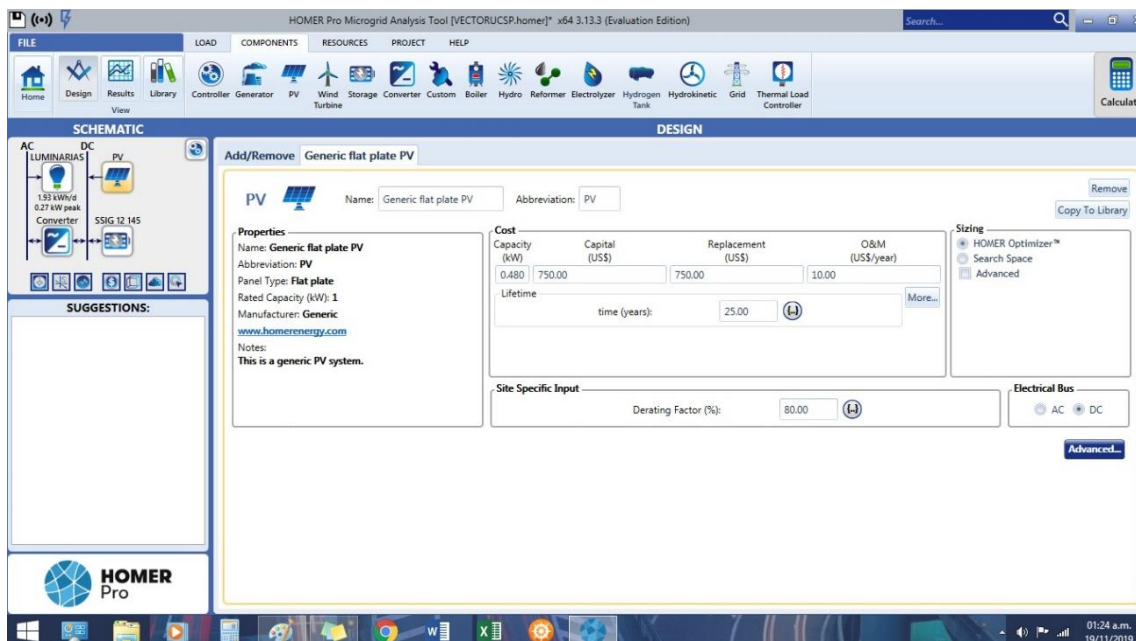
Hora	Fecha	Canal 1 V	Canal 2 V	Canal 3 V	Canal 4 V	Canal 1 A	Canal 2 A	Canal 3 A	Canal 4 A	IR	UV	Latitud	longitud	MSNM	
00:00:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	254	0.02	-16.3971	-71.5319	2388.1
00:00:51	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5319	2386.5
00:01:21	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5319	2388
00:01:51	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5319	2387
00:02:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5319	2386.7
00:02:51	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5318	2387.6
00:03:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2384.4
00:03:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.03	-16.3972	-71.5318	2384.1
00:04:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2384
00:04:51	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2385.8
00:05:21	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	252	0.01	-16.3972	-71.5318	2385.8
00:05:51	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	252	0.03	-16.3972	-71.5318	2386.3
00:06:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.03	-16.3971	-71.5319	2386.8
00:06:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.03	-16.3972	-71.5319	2386
00:07:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5319	2387.5
00:07:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3971	-71.5319	2386.8
00:08:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.03	-16.3971	-71.5319	2387.5
00:08:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5319	2388.5
00:09:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.03	-16.3972	-71.5319	2387.5
00:09:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5319	2387.2
00:10:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	254	0.02	-16.3971	-71.5319	2388
00:10:51	21/09/2016	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5319	2387.2
00:11:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3971	-71.5318	2386.3
00:11:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5318	2384.2
00:12:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3971	-71.5318	2385.6
00:12:51	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5318	2385.9
00:13:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3971	-71.5318	2384.9
00:13:51	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5318	2384.3
00:14:21	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	252	0.01	-16.3971	-71.5318	2382.9
00:14:51	21/09/2016	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5318	2383.5
00:15:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.03	-16.3971	-71.5318	2385.1
00:15:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3971	-71.5319	2386.7
00:16:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	251	0.02	-16.3971	-71.5319	2386.7
00:16:51	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	252	0.02	-16.3971	-71.5318	2386.3
00:17:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3971	-71.5318	2384.6
00:17:51	21/09/2016	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3971	-71.5318	2382.9
00:18:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.03	-16.3972	-71.5318	2382.1
00:18:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3971	-71.5318	2381.1
00:19:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.03	-16.3971	-71.5318	2380.6
00:19:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	254	0.01	-16.3972	-71.5318	2380.9
00:20:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5318	2382.5
00:20:51	21/09/2016	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	254	0.02	-16.3972	-71.5318	2382.7
00:21:21	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2384.4
00:21:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2384.2
00:22:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5318	2383.9
00:22:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.03	-16.3972	-71.5318	2382.3
00:23:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2381.6
00:23:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.03	-16.3972	-71.5318	2383.1
00:24:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.01	-16.3972	-71.5318	2383.9
00:24:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5318	2384.4
00:25:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5319	2384.3
00:25:51	21/09/2016	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5319	2383.5
00:26:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	254	0.01	-16.3972	-71.5319	2386.2
00:26:51	21/09/2016	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.01	-16.3972	-71.5319	2387.4
00:27:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5319	2389.4
00:27:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.03	-16.3972	-71.5319	2388.7
00:28:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5319	2387.3
00:28:51	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	252	0.02	-16.3972	-71.5319	2386.9
00:29:21	21/09/2016	12.7	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5319	2387.6
00:29:51	21/09/2016	12.6	0	0	0	0.00	0	0	0	0	253	0.02	-16.3972	-71.5319	2385.5
00:30:21	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.03	-16.3972	-71.5318	2385.4
00:30:51	21/09/2016	12.7	0.1	0	0	0.07	0	0	0	0	253	0.01	-16.3972	-71.5318	2386.6

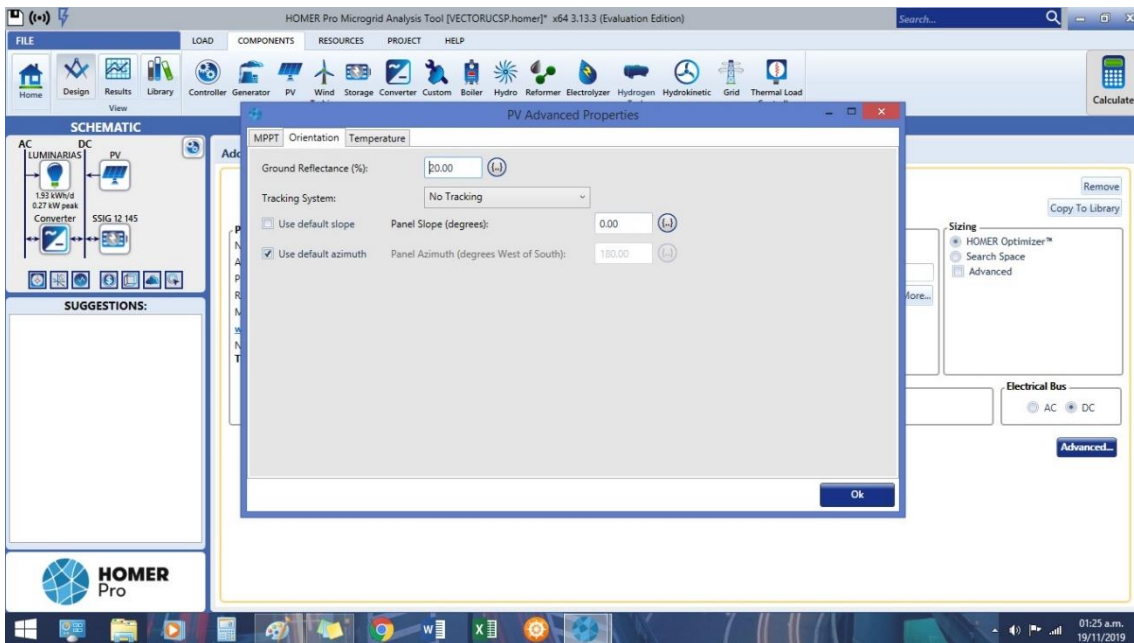
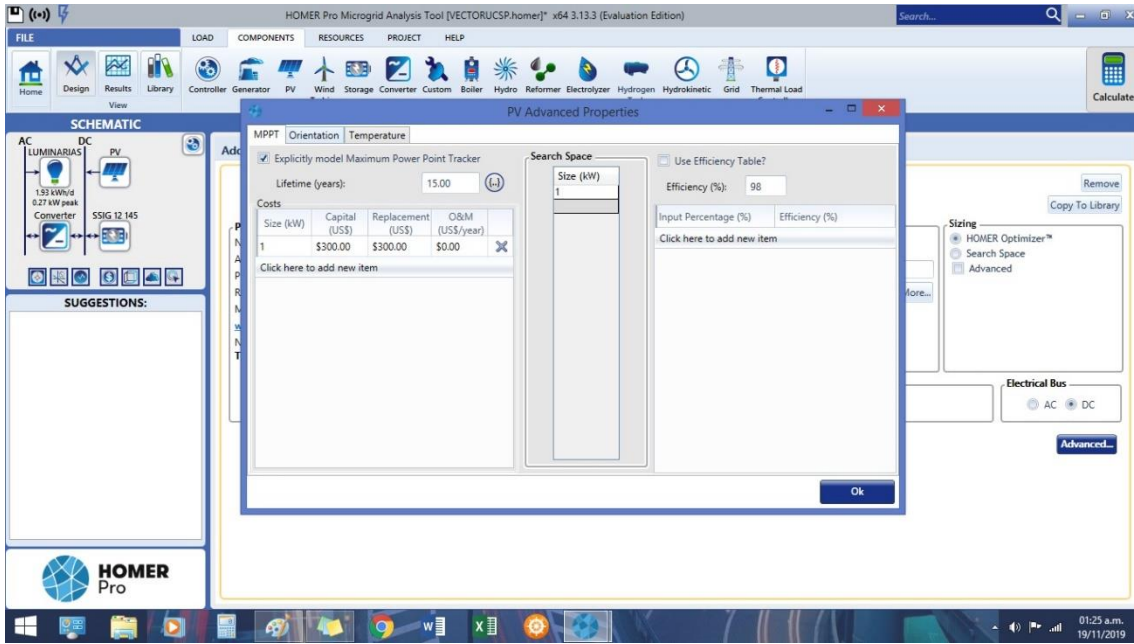
ANEXO 7 SIMULACION EN HOMER ENERGY PRO

1. CONFIGURACIÓN DE CARGA

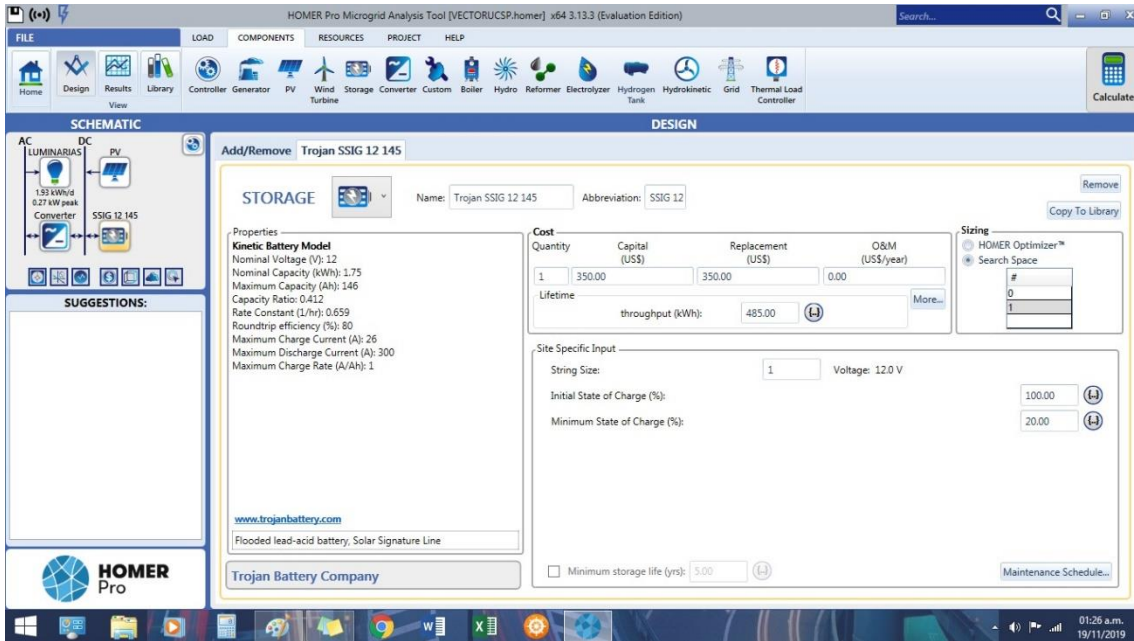


2. CONFIGURACIÓN DE PANELES SOLARES

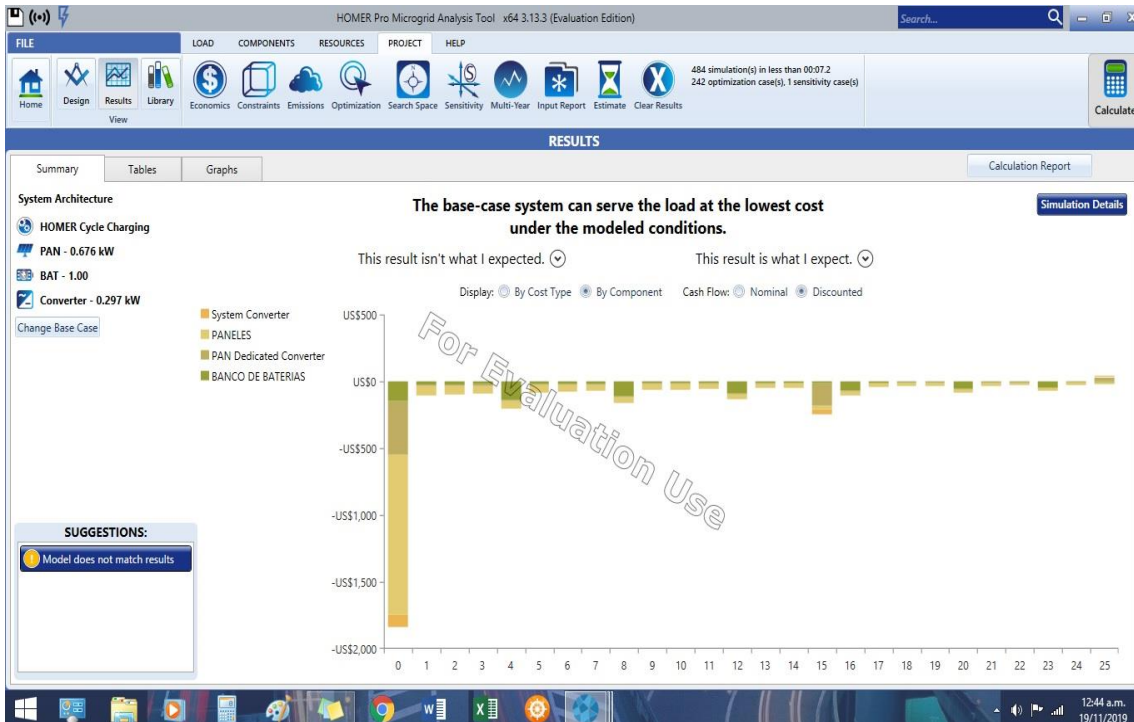




3. CONFIGURACIÓN DE BANCO DE BATERÍAS



4. RESULTADOS (IMÁGENES)



HOMER Pro Microgrid Analysis Tool [VECTORUCSP.homer]* x64 3.13.3 (Evaluation Edition)

FILE LOAD COMPONENTS RESOURCES PROJECT HELP

Home Design Results Library Controller Generator PV Wind Turbine Storage Converter Custom Boiler Hydro Reformer Electrolyzer Hydrogen Tank Hydrokinetic Grid Thermal Load Controller Calculate

RESULTS

Summary Tables Graphs Calculation Report

Export... Compare Economics Column Choices... Categorized Overall

Optimization Results
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

Architecture					Cost				System						
PV (kW)	PV-MPPT (kW)	BATS	Converter (kW)	Dispatch	NPC (US\$)	COE (US\$)	Operating cost (US\$/yr)	Initial capital (US\$)	O&M (US\$/yr)	Ren Frac (%)	Cap Short (kWh/yr)	Elec Prod (kWh/yr)	Elec Cons (kWh/yr)	Excess Elec (kWh/yr)	Unn (k)
5.22	1.00	1	0.274	CC	US\$14,925	US\$2.39	US\$467.48	US\$8,882	US\$108.66	100	282	3,740	484	3,122	219

For Evaluation Use

01:47 a.m. 19/11/2019

HOMER Pro Microgrid Analysis Tool [VECTORUCSP.homer]* x64 3.13.3 (Evaluation Edition)

FILE LOAD COMPONENTS RESOURCES PROJECT HELP

Home Design Results Library Controller Generator PV Wind Turbine Storage Converter Custom Boiler Hydro Reformer Electrolyzer Hydrogen Tank Hydrokinetic Grid Thermal Load Controller Calculate

RESULTS

Summary Tables Graphs Calculation Report

Export... Compare Economics Column Choices... Categorized Overall

Optimization Results
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.

System		PV			BATS			Converter			
Unmet load (kWh/yr)	Capacity (kW)	Inverter Capacity (kW)	Capital Cost (US\$)	Production (kWh/yr)	Autonomy (hr)	Annual Throughput (kWh/yr)	Operating hours (hours)	Nominal Capacity (kWh)	Usable Nominal Capacity (kWh)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean (kW)
219	5.22	1.00	8,450	3,740	17.5	492	0	1.75	1.40	0	0.0552

For Evaluation Use

01:48 a.m. 19/11/2019

5. RESULTADOS (TABLA)

Architecture/PV (kW)	Architecture/PV-MPPT (kW)	Architecture/BATS	Architecture Converter (kW)	Architecture/ Dispatch	
5.215757623	1	1	0.274224814	CC	
Cost/NPC (US\$)	Cost/COE (US\$)	Cost/Operating cost (US\$/yr)	Cost/Initial capital (US\$)	Cost/O&M (US\$/yr)	
14925.25	2.387556	467.4803	8881.889	108.6616	
System/Ren Frac (%)	System/Cap Short (kWh/yr)	System/Elec Prod (kWh/yr)	System/Elec Cons (kWh/yr)	System/Excess Elec (kWh/yr)	System/Unmet load (kWh/yr)
100	281.6902	3739.647	483.5629	3121.946	219.0621
PV/Capacity (kW)	PV/Inverter Capacity (kW)	PV/Capital Cost (US\$)	PV/Production (kWh/yr)		
5.215757623	1	8449.621	3739.647		
BATS/Autonomy (hr)	BATS/Annual Throughput (kWh/yr)	BATS/Operating hours (hours)	BATS/Nominal Capacity (kWh)	BATS/Usable Nominal Capacity (kWh)	
17.46147	491.8398	0	1.750694	1.400555	
Converter/Rectifier Mean Output (kW)	Converter/Inverter Mean Output (kW)				
0	0.05520124				