UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Técnico Universitario de acceso ABIERTO

2018

ESTUDIO, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CON INVERSOR UNO 2.0

CARRASCO BERMEDO, MATÍAS MAURICIO

http://hdl.handle.net/11673/41098

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE CONCEPCION - REY BALDUINO DE BÉLGICA

ESTUDIO, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA DE SISTEMA FOTOVOLTAICO CON INVERSOR UNO 2.0

Trabajo de Titulación para optar al título de Técnico Universitario en AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL.

Alumnos:

Paulo Alejandro Oliva Barra

Matías Mauricio Carrasco Bermedo

Profesor Guía:

Helmut Contreras Novoa

2018

Resumen

El siguiente escrito tiene como objetivo el estudio de los equipos adquiridos por el taller eléctrico en materia de generación eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos, para así aportar a que la universidad y sus estudiantes no queden ajenos a la realidad y revolución energética en que actualmente se encuentra el país.

Además, con el ánimo de que los equipos sean un aporte al taller eléctrico y una oportunidad real de uso, realizaremos una propuesta de mejora que tenga como fin el uso continuo y real de los equipos que componen el sistema fotovoltaico, haciendo hincapié en la reducción del consumo de la red eléctrica.

Para esto se llevará a cabo un estudio detallando potencias, condiciones favorables y un sistema nuevo de generación que pueda ser beneficioso para el taller eléctrico.

Keywords: Inversor UNO 2.0, sistema fotovoltaico hibrido

Índice

Introducción 1
Definición y descripción de problema 3
Objetivos 5
Alcance 7

CAPITULO I MARCO TEÓRICO 9
1. Sistemas fotovoltaicos 11
1.1. Sistema Off grid: 11
1.2. Sistema On grid: 12
1.3. Sistema Híbrido 13
2. Tipos de paneles fotovoltaicos 14
2.1. Monocristalinos 15
2.2. Policristalinos 17
2.3. De capa fina 18
3. Consideraciones que favorezcan la elección 20
3.1. Condiciones de generación 21
4. Peak Sun Hour (PSH) u Hora solar pico 27
4.1. Posición de la placa considerando ángulo de exposición y ángulo de elevación 30
5. Configuración de conexión de placas solares 32
5.1. Conexión serie de placas solares 32
5.2. Conexión paralela de placas solares 35
5.3. Conexión mixta de placas solares 37
6. Tipos de Baterías 39
7. Cálculo de baterías para sistema fotovoltaico 42
8. Sistemas de control de carga 44
8.1. Control On - Off: 44
8.2. Control por Anchura de pulsos (PWM): 44
8.3. Control de seguimiento de punto de máxima potencia (MPPT) 44
9. Método de elevado de tensión DC. 46
9.1. Método de elevador boost: 46
9.2. Método de inversor-rectificador 48

CAPITULO II EQUIPOS INSTALADOS 49
10. Inversor ABB UNO 2.0 51
11. Especificaciones Placa Solar Instalada 53
CAPITULO III EQUIPAMIENTO ADICIONAL 55

12. Controlador MPPT Fangpusun.....57
13. Baterías de gel 12 V ultracell UCG-288-12.....58
14. Batería estacionaria de gel TUDOR 2613 [Ah].....58
15. Contactor.....59
16. Puente rectificador MDQ –100-16.....60

CAPITULO IV DISEÑO Y PROPUESTA DE SOLUCION.....61
18. Funcionamiento esquemático del inversor UNO 2.0.....64
19. Esquema de funcionamiento del diseño.....65
20. Criterios de elección de equipamiento.....66
21. Consideraciones previas.....68
21.1. Capacidad de consumo.....68
22. Elevador de tensión.....70
22.1. Calculo de condensador:.....71
23. Conmutación a red eléctrica.....72
Conclusiones.....73
Bibliografía en línea:.....75
ANEXOS.....77

Índice de Figuras

Figura 1.1: Esquema de sistema fotovoltaico Off-grid. 11
Figura 1.2: Esquema de sistema fotovoltaico On-grid. 12
Figura 1.3: Esquema de sistema fotovoltaico híbrido. 13
Figura 2.1: Celda de panel fotovoltaico Monocristalino. 15
Figura 2.2: Celda de panel fotovoltaico Policristalino. 17
Figura 2.3: Celda de panel fotovoltaico de Capa fina. 18
Figura 3.1: Espectro solar de radiación. 21
Figura 3.2: AM (Air mass). 22
Figura 3.3: Masa Área AM. 24
Figura 3.4: Efecto de la temperatura sobre las celdas. 27
Figura 4.1: Hora solar pico. 28
Figura 4.2: Insolación. 28
Figura 4.3: Posición de placa considerando ángulo de exposición y ángulo de elevación. 30
Figura 4.4: Demostración gráfica de posición óptima. 31
Figura 4.5: Representación óptima de anclaje de paneles. 31
Figura 5.1: Representación de conexión en serie de dos paneles. 33
Figura 5.2: Representación de conexión en serie de 3 paneles. 34
Figura 5.3: Representación de conexión en paralelo de 2 paneles. 32
Figura 5.4: Representación de conexión en paralelo de 3 paneles. 36
Figura 5.5: Representación de conexión mixta de dos grupos, primer paso. 37
Figura 5.6: Representación de configuración mixta de dos grupos, segundo paso. 38
Figura 6.1: Representación de interruptor cerrado en método Boost. 46
Figura 6.2: Representación de interruptor abierto en método Boost. 46
Figura 7.1: Inversor ONS 2000P. 48
Figura 7.2: Inversor EV9333. 48
Figura 8.1: Hoja de datos de inversor ABB UNO 2.0. 51
Figura 8.2: Diagrama de operación inversor ABB UNO 2.0. 52
Figura 9.1 Datos de placa, panel fotovoltaico instalado. 53
Figura 9.2: Hoja de datos de panel fotovoltaico KM250. 54
Figura 10.1: Controlador de carga MPPT Fangpusun. 57
Figura 10.2: Batería monoblock de gel UCG-288-12. 58
Figura 10.3: Batería estacionaria de gel TUDOR 58
Figura 10.4: Contactor Mitsubishi con bobina de 220 VAC. 59
Figura 10.5: Puente rectificador con diodos. 60

Figura 11.1: Esquema de funcionamiento del inversor UNO 2.0. 64
Figura 11.2: Esquema de funcionamiento final del nuevo sistema fotovoltaico. 65
Figura 12.1: Esquema de conexionado de paneles fotovoltaicos 1 67
Figura 12.2: Esquema de conexionado de paneles fotovoltaicos 2 67
Figura 13.1: Puente rectificador de onda completa. 70
Figura 13.2: Comparación de rectificación con condensador. 70
Figura 14.1: Diagrama de conmutación entre red eléctrica e inversor. 72

Índice de Tablas

Tabla 1.1: Cálculo de potencias en sistema off-grid 11
Tabla 2.1: Resumen de hoja de datos inversor ABB UNO 2.0 52
Tabla 3.1: Detalle de consumo en iluminación en taller eléctrico 69

Introducción

Nadie puede estar ajeno que desde la implementación de la energía eléctrica siempre ha existido la incógnita de cómo la generamos. A lo largo de la historia ha habido innovación y competencia por una nueva forma de generación, donde siempre domina la eficiencia y el menor costo. En la actualidad y ajustándose a la realidad de nuestro país, existe un gran impulso por el uso de energías renovables no convencionales (ERNC), que están siendo utilizados como política de estado, tomando en cuenta este gran paso tecnológico y sabiendo que aún sigue en desarrollo, se convierte en una temática sumamente atractiva.

Nosotros como estudiantes pertenecientes al departamento de electricidad en una Universidad Técnica líder en ingeniería, ciencia y tecnología no podemos quedarnos ajenos a la realidad país y mundial que representa la generación fotovoltaica, es por ello que se debe demostrar empíricamente el interés en esta área y su real potencialidad.

Definición y descripción de problema

En Chile, actualmente se ha vivido una revolución energética de gran envergadura, en donde, por políticas de estado, tratados internacionales y un mayor desarrollo investigativo en la materia. Han hecho que la generación eléctrica con fuentes renovables (ERNC) sean una competencia válida para los profesionales de nuestro país, es por ello que nuestra universidad adquirió equipamiento necesario para abordar en primer plano la generación fotovoltaica.

Dado a los hechos es que nace la inquietud de realizar un estudio, en donde se entregue información del equipamiento adquirido, además de detallar la información técnica de los equipos, sus capacidades, su función específica, su configuración y posibilidades de uso inmediato para beneficio del taller eléctrico cómo también de la universidad.

Objetivos

General:

Utilizando el inversor disponible en el taller de electricidad, generar una propuesta de suministro continuo a través de un banco de baterías.

Especifico:

- Clasificar e identificar dentro de la gama de equipos inversores de paneles fotovoltaicos y jerarquizar su potencialidad
- Estudio de baterías, considerando la variedad existente para un sistema fotovoltaico, indicando la comparación entre ellos, determinar el adecuado para el sistema y cuantificar la capacidad necesaria para el funcionamiento continuo.
- Estudiar y cuantificar la capacidad instalada de los paneles fotovoltaicos en la universidad.

Alcance

- Realizar un estudio del inversor existente en el taller eléctrico, como también de los paneles fotovoltaicos y cuantificar su potencia.
- Generar una propuesta de mejora que entregue una alimentación continua al taller eléctrico que incluya planos, normas, recomendaciones y/o comentarios necesarios para una futura implementación.

CAPITULO I MARCO TEÓRICO

1. Sistemas fotovoltaicos

1.1. Sistema Off grid:

Este sistema consiste en generar energía captada a través de paneles fotovoltaicos y almacenando en baterías. Para la alimentación de cargas el inversor transforma la corriente continua en alterna.

Ejemplo de instalación:

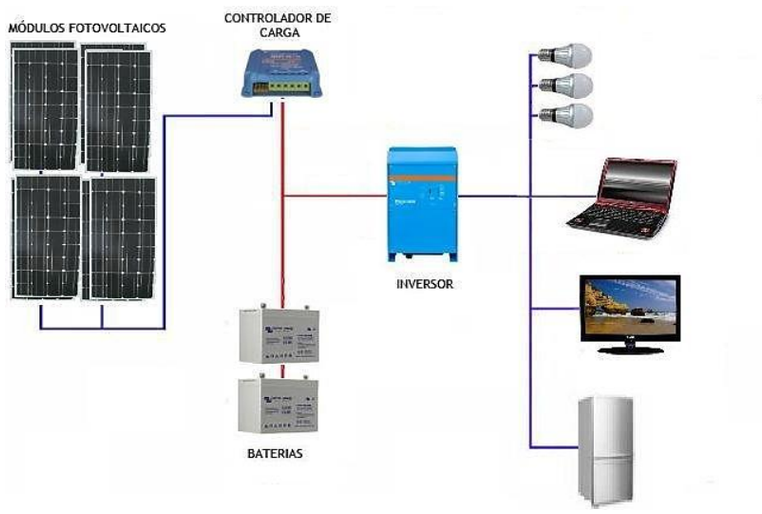


Figura 1.1: Esquema de sistema fotovoltaico off-grid

Como el sistema está en isla (independiente del sistema eléctrico), se requiere un cálculo de potencia a utilizar, este cálculo es simple y se ejemplifica en esta tabla:

Cantidad	Equipos	Potencia Watts c/u	Horas Uso diarias	Subtotal Watts
3	Ampolletas	10	4	120
1	Netbook	40	4	160
1	TV led 32"	70	5	350
1	Refrigerador	100	24	2400
	Total Potencia	**240**	**Total consumo**	**3030**

Cantidad x Potencia x Horas

3 KW

Tabla 1.1: Cálculo de potencias en sistema off-grid

1.2.Sistema On grid:

La energía generada por sus paneles se inyecta a su consumo, produciendo importantes ahorros que se verán reflejados en su cuenta mensual de electricidad. No se utiliza banco de baterías, por lo que el sistema es de menor costo.

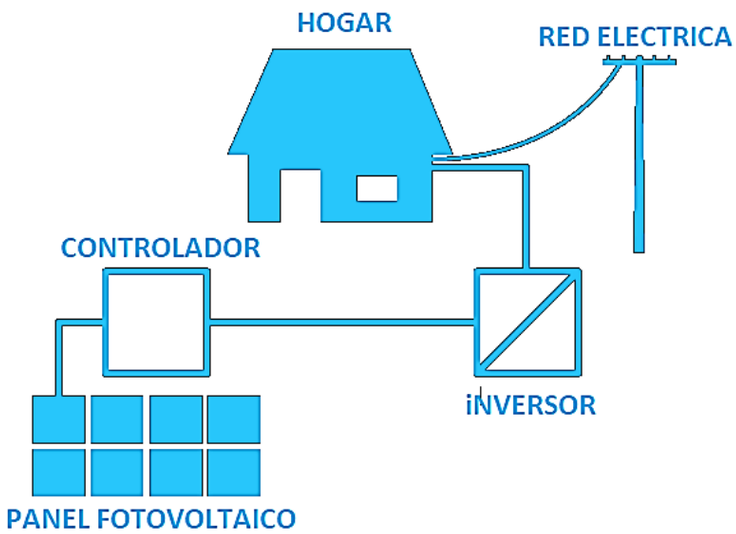


Figura 1.2: Esquema de sistema fotovoltaico On-grid

Este sistema en la mayoría o en la totalidad de los casos se implementan con un medidor de potencia bidireccional, que funciona inyectando al sistema interconectado central la energía sobrante del sistema.

1.3.Sistema Híbrido

Un sistema híbrido fotovoltaico, es básicamente la combinación de las cualidades de un sistema on grid junto al off grid, en donde todo se canaliza en un inversor capaz de sincronizarse con la red eléctrica además de poseer en control de carga por MPPT hacia un banco de baterías calculado dependiendo de la cantidad de corriente del inversor y la capacidad de la instalación.

Este sistema toma fuerza, ya que en sí la aplicación es básica y representa cómo se conectarán definitivamente los sistemas fotovoltaicos. Su costo es más elevado, ya que lleva consigo una electrónica más avanzada, un banco de baterías que conlleva consigo al menos el 40% del costo total del proyecto.

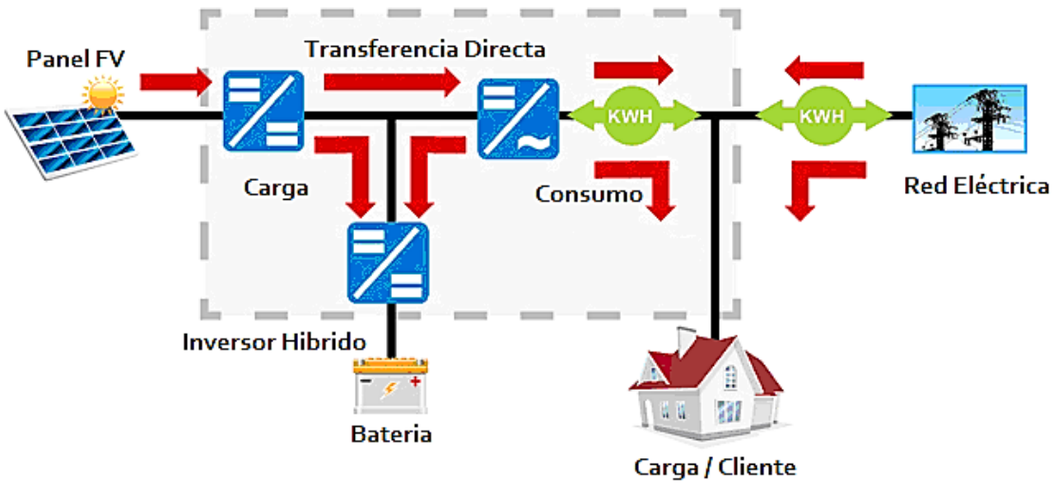


Figura 1.3: Esquema de sistema fotovoltaico híbrido

2. Tipos de paneles fotovoltaicos

En el mercado existen 3 tipos de construcción de paneles fotovoltaicos:

- Monocristalinos
- Policristalinos
- De Capa Fina

En lo general, la mayoría de los paneles fotovoltaicos están hecho a partir del elemento silicio (cristalino) debido a sus características y propiedades, pero también se puede encontrar con arseniuro de galio, estos últimos fabricados especialmente con el único fin de ser servidos en la aplicación de paneles fotovoltaicos, los cuales hacen mayor elevado sus precios debido a su exclusividad en uso; no así el uso de silicio que están disponibles en lingotes normalizados lo que los hace más baratos y a la vez amplían su gama de uso producidos especialmente para la microelectrónica. Utilizando estas celdas comunes e incidiendo sobre ellas un haz de luz que caiga directamente sobre ella sobre una celda de aproximadamente unos 6 cms de diámetro puede producir alrededor de 0,5[A] a 0,5[V] sujeto al brillo solar y la eficiencia de la placa en sí. Para este efecto compararemos 3 tipos de placas fotovoltaicas en base a silicio contrastando sus pro y contras:

2.1.Monocristalinos

Figura 2.1: Celda de panel fotovoltaico Monocristalino

®Energías Renovables. (2014). Tipos de Paneles Fotovoltaicos. Recuperado de http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/

Las celdas solares de silicio monocristalino (mono-Si), son fáciles de reconocer por su pigmentación de color azulado, esto indica que posee una alta pureza en silicio tal como se puede apreciar en la figura 2.1

Éstas celdas se fabrican con bloques de silicio o lingotes, que son de forma cilíndrica. Para optimizar el rendimiento, se recortan los cuatro lados de los bloques cilíndricos para hacer láminas de silicio, y que les da esa apariencia característica.

Sucede que hay paneles solares policristalinos los cuales también poseen esta pigmentación azulada, pero lo que diferencia a los monocristalinos es que éstos poseen un corte diagonal en cada una de sus 4 esquinas, no así los policristalinos que son exactamente rectangulares.

Ventajas de los paneles solares monocristalinos:

- Dentro de todos los tipos de placas, éstas poseen la mayor tasa de eficiencia pues su fabricación es en base a silicio de alta pureza. La eficiencia de estos paneles está por sobre los 15% y dependiendo de algunas marcas que las trabajan con silicio en estado realmente puro, su eficiencia puede llegar a superar el 21%
- Una característica importante a favor es su vida útil, llegando a más de 25 años según sus fabricantes.
- A menudo funcionan mejor que los paneles policristalinos bajo similares condiciones térmicas y físicas, sea poca luz, poca irradiancia, etc, factores en sí que son conocidos por afectar negativamente el rendimiento de las placas.
- Las temperaturas altas suelen afectar de manera negativa al rendimiento de las placas, pero esto tiene menor efecto en las placas monocristalinas.

Desventajas de los paneles monocristalinos:

- Su costo es elevadamente alto. Si de una instalación para uso domiciliario se tratase, es mejor optar por un panel policristalino o inclusive de capa fina
- Son susceptibles ante una parcial o total cubrimiento de una celda. Si decide poner paneles monocristalinos pero cree que pueden quedar sombreados en algún momento, lo mejor es usar micro inversores solares en vez de inversores en cadena o centrales. Los micro inversores aseguran que no toda la instalación solar se vea afectada por sólo un panel afectado.
- En el proceso empleado para fabricar paneles monocristalinos, al recortar sus esquinas se desperdicia una gran cantidad de silicio, considerando la dificultad de conseguir este material no es un gran punto a favor.

2.2.Policristalinos

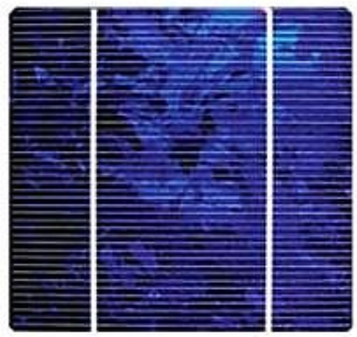


Figura 2.2: Celda de panel fotovoltaico policristalino

®Energías Renovables. (2014). Tipos de Paneles Fotovoltaicos. Recuperado de http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/

Los primeros paneles solares policristalinos de silicio aparecieron en el mercado en 1981. A diferencia de los paneles monocristalinos, a la hora de su elaboración no se emplea este corte en sus puntas, por lo que no se gasta silicio demás. El silicio en bruto se funde y se vierte en un molde cuadrado. Luego de eso, se enfría y se corta en láminas perfectamente cuadradas.

Ventajas de los paneles policristalinos:

- No se requiere de mucho trabajo excéntrico para fabricar paneles fotovoltaicos policristalinos, su elaboración es más simple que el de los monocristalinos, por lo que su precio es bastante menor.
- En su proceso de fabricación se pierde mucho menos silicio que en la elaboración de un monocristalino, pues éste conserva sus puntas.

Desventajas de los paneles policristalinos:

- Éstos paneles por lo general tienen menos resistencia al calor que los monocristalinos. Si dado el caso la temperatura de sus celdas es algo elevada, tendrá un menor rendimiento que en el caso de un panel monocristalino, además este mismo efecto de temperatura puede acortar la vida útil del mismo.
- Al no ser fabricado con un silicio tan puro, su eficiencia ronda entre los 13% a 16%.
- Comparado con una misma generación que con la de un monocristalino, se necesita más espacio de placa solar en un policristalino que un monocristalino.

2.3. De capa fina

Figura 2.3: Celda de panel fotovoltaico de capa fina

®Energías Renovables. (2014). Tipos de Paneles Fotovoltaicos. Recuperado de http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/

Lo que fundamenta a estos paneles solares es depositar varias capas de material fotovoltaico en una base. Se pueden encontrar paneles de capa fina de distintos materiales, éstos se definen a la hora de ser construidos, los hay de silicio amorfo(a-Si), de teluluro de cadmio (CdTe), de cobre, indio, galio y selenio. (GIS/CIGS) o células fotovoltaicas orgánicas (OPC)

Comprendiendo todos estos tipos de elementos con los cuáles es construido, la eficiencia ronda entre el 7% y el 13%, y debido que al no tener que ser tan sofisticado y por su valor es que tiene un gran potencial en el uso de consumo doméstico

Ventajas de los paneles fotovoltaicos de capa fina:

- Se fabrican de una manera muy sencillas y en grandes remesas, permitiendo que su valor no sea tan alto.
- Tienen una apariencia muy homogénea
- Dependiendo del elemento de construcción pueden ser flexibles, lo que permite que se adapten a múltiples superficies.
- El rendimiento no se ve afectado tanto por las sombras y altas temperaturas.
- Son una gran alternativa cuando el espacio no es problema.

Desventajas de los paneles de capa fina:

- A pesar que son bastante más baratos por la eficiencia, se necesita de mucho espacio para generar una cantidad importante de energía. Un panel

monocristalino es capaz de producir hasta 4 veces más que uno de capa fina por cada metro cuadrado.

- Al necesitar más paneles, también hay que invertir más en estructura metálica, cableado, o donde sea que esta vaya montada.
- La vida útil de estos paneles es menor, pues tienden a degradarse más rápido por su exposición solar.

Como aspecto a considerar, cuando haya espacio limitado los paneles cristalinos son la mejor opción; normalmente se encontrarán paneles de 180, 200 y 220 watts con las mismas dimensiones así que si el espacio es algo importante a considerar, se debería de elegir aquellos que entreguen más potencia.

Dentro de los cristalinos, los monocristalinos son más eficientes en cuanto a espacio, aunque son más caros. Si se tiene un panel monocristalino y uno policristalino siendo ambos de 220 watts, el monocristalino será más pequeño.

3. Consideraciones que favorezcan la elección

Un panel solar suele tener una vida media de entre 30 a 40 años, por lo que la finalidad es aprovechar al máximo su uso y tener una eficiencia completa, para esto hay ciertos aspectos que tener en consideración para lograr el fin, los cuales son:

- Definir cuánto se consume.
    - Es importante tener en cuenta el consumo medio en kw/h por día, para poder hacer un cálculo correcto y apropiado lo que nos determinará ciertos niveles de trabajo.

- Dónde se ubicará.
    - Hay que recordar que se debe procurar mantener la exposición a la luz del sol la mayor parte del día para aprovechar de absorver su energía. Bajo estudios realizados, se determinó que las horas más importantes del día para la exposición de la placa al sol son entre las 10 de la mañana y las 3 de la tarde, un rango de 5 horas.

- Qué tipo de placa.
    - El rendimiento teórico de la placa monocristalina es ligeramente mayor, pero lo es así también su precio. Si la finalidad es sólo mantener la luminaria encendida se puede utilizar perfectamente una placa policristalina.

- Potencia.
    - Se refiere a la cantidad de energía que el panel es capaz de irradiar, es importante tenerlo en consideración para efectos de cálculo finales de trabajo. Por ejemplo, si tenemos un panel que dice el símbolo ±5%, éste hace referencia al margen de energía que puede variar, es decir si dice 100W el margen real de la placa sería entre 95W y 105W.

3.1. Condiciones de generación

Para los paneles instalados se asume una especificación técnica en STC (Standard Test Conditions), lo cual son condiciones de medición estándar. Para esto, todos los fabricantes someten sus placas a condiciones nominales, para que así todas estén niveladas en cuanto a su rendimiento y eficiencia. Estos valores no varían y siempre están especificadas como STC, para tales efectos, éstos son los 3 factores a considerar:

$$E = 1000\ [W/m^2]$$
$$AM = 1{,}5$$
$$Tc = 25[°C]$$

Irradiancia, Masa Aérea o Masa de Aire y Temperatura de celdas respectivamente

Sobre el concepto de Irradiancia (E), tenemos que ésta es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación, se mide en W/m^2. En el siguiente gráfico tenemos un espectro de la radiación solar sobre la tierra:

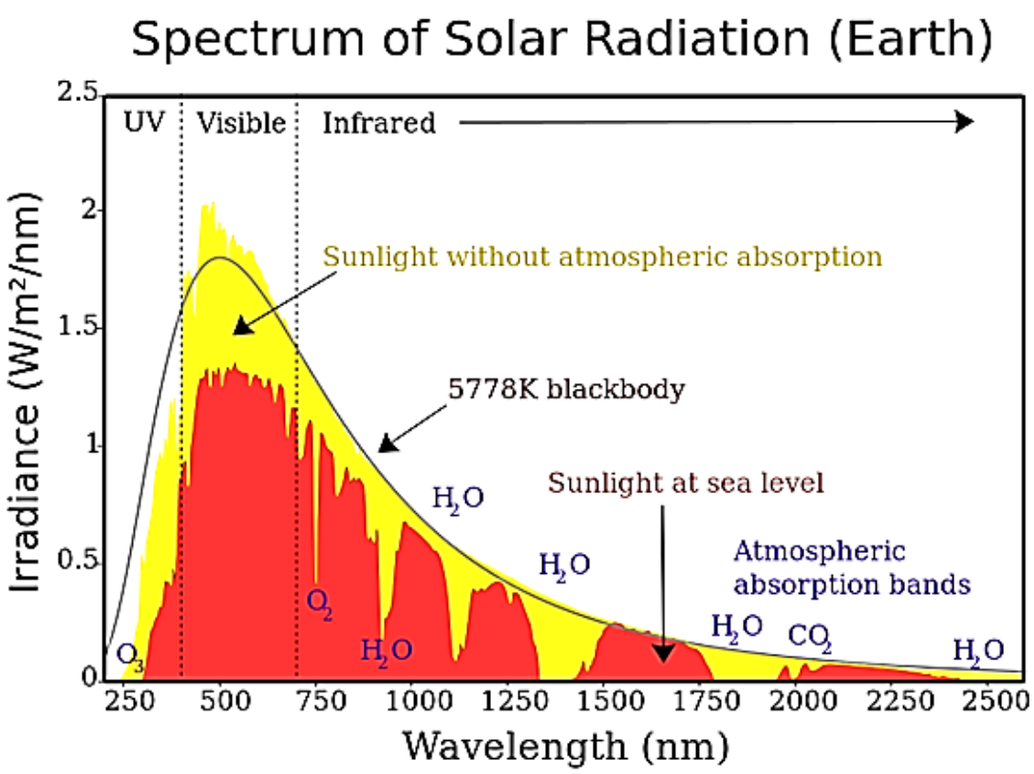


Figura 3.1: Espectro solar de radiación

Robert A. (2007). Solar Radiation Spectrum. Recuperado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Solar_Spectrum.png

Tenemos una zona en amarillo la que pertenece a los rayos del sol sin absorción atmosférica, y en rojo la radiación a nivel del mar que es lo que nos importa pues considera en gran medida las pérdidas a esa escala, lo que nos acerca a un valor más real. Cabe destacar que sobre esta zona en rojo se debe hacer un cálculo integral para poder determinar el área bajo la curva que es la que nos determinará el valor de la irradiancia la cual está definida por 1000 W/m^2, en ciertos estudios se utiliza 800W/m^2 dependiendo de la cantidad de incidencia. Para el cálculo de área bajo la curva en la zona amarilla se llega a un valor de 1350 W/m^2 que es en la zona de entrada a la atmósfera, sin considerar absorciones ni ningún tipo de pérdidas.

AM (Air Mass) Masa de Aire ó Masa Aérea no tiene una unidad de medida definida pues es una relación asociada a un factor, en definición es la distancia que atraviesa la radiación solar en la atmósfera expresada como proporción de la masa de aire con radiación vertical a nivel del mar. En el espacio, AM será siempre 0, a la hora de entrar dentro de la atmósfera terrestre esta empezará a cruzar y toparse con "obstáculos" (llámense éstos partículas, gases, la misma atmósfera en sí, etc) y aquí es donde entra a considerarse el factor AM con una relación entre el ángulo de incidencia del haz solar sobre la superficie terrestre. Para explicarlo de mejor manera se hace importante analizar la siguiente imagen:

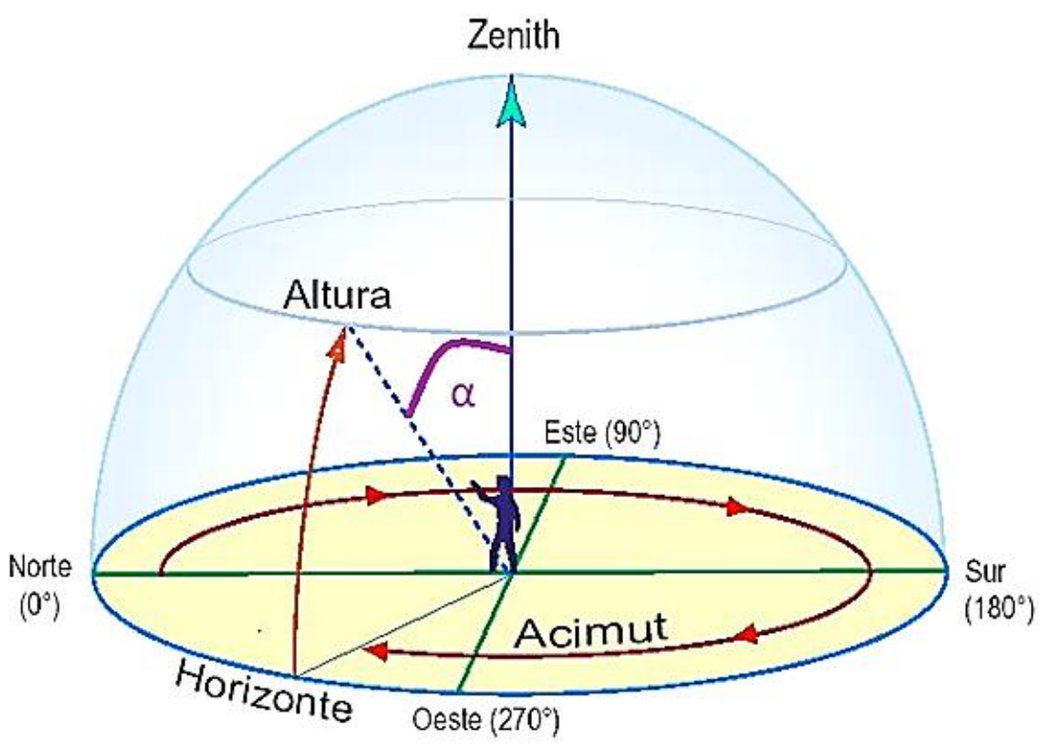


Figura 3.2: AM (Air mass)

Recuperado de http://www.astro.ugto.mx/~rcoziol/LaLuz/conceptos_basicos_files/image018.jpg

Debemos tener en consideración el Zenith, que también es conocido como **Punto Cenital**, el cual no es nada más que un punto sobre nuestra cabeza para generar un cateto, correspondiente al lad o de un triángulo que nos ayudará a determinar el valor del ángulo cenital. La línea segmentada que llega a la persona en la figura es la incidencia de la luz solar. La Altura está definida como la extensión desde el horizonte hasta la línea de incidencia, pero lo más importante a considerar es el **Ángulo Cenital**, el cual es el **ángulo α** formado entre el haz solar de incidencia y el punto cenital mostrado en la figura. Este ángulo es el que nos permitirá definir nuestro factor AM y ocurre algo curioso pues ese mismo ángulo formado ahí corresponde exactamente al ángulo otorgado por la latitud previamente ya establecido en los mapas mundiales. A nosotros nos corresponde una latitud exacta en la Universidad Técnica Federico Santa María de **36,785°** (*Fuente Google Maps*), y por medio de trigonometría se define la fórmula para el factor AM de la siguiente manera:

$$AM = \frac{1}{\cos \alpha}$$

Por lo consiguiente tenemos:

$$AM = \frac{1}{\cos 36.785}$$

$$AM \approx 1.248$$

Tenemos un AM de aproximadamente 1,2; esto quiere decir que tenemos un buen factor, pues en teoría a menor AM (cercano a 1) mejor eficiencia; los datos de placa vienen pre-establecidos para un factor AM 1,5 el cual por previos cálculos están para una zona con un ángulo cenital latitud de 48,2°; y suele ser el AM de 1,5 pues está estandarizado para ciertas zonas de Estados Unidos y Europa, las cuales algunas comparten la misma latitud. Y como consideración en su condición óptima se tendría un AM de valor 1 cuando se encuentra en la línea del ecuador. Con todo esto tenemos este punto a favor visible al final del camino en eficiencia de la placa.

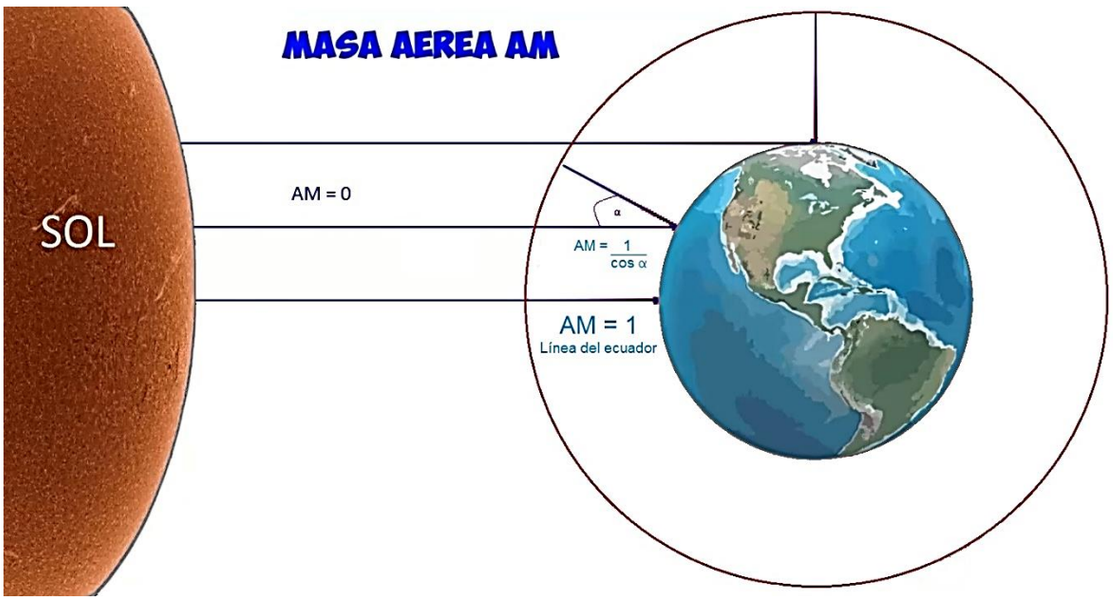


Figura 3.3: Masa Área AM

Stefani J. (2014). Capítulo I.IV La Masa de Aire – Cenit y STC. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=JoWIvVJrsxM

*A modo de estudio y teoría, para latitudes y ángulos sobre 75° el AM se transforma en un número demasiado grande que no refleja la realidad de su factor, para ello se utiliza esta fórmula:

$$AM = \frac{1}{\cos\alpha + 0.50572(96.07995 - \alpha)^{-1.6364}}$$

Donde α es el ángulo y/o latitud del punto a medir.

* Para **Temperatura de celda (Tc)** tenemos una medición estándar de 25°C predefinida por el fabricante, pero en la práctica tendremos temperaturas que estarán por sobre o debajo de ésta y aquí es donde viene la interrogante sobre qué tanto afecta la temperatura sobre la placa solar realmente. Solemos confundir y mimetizar conceptos, pues creemos que mientras más calor reciba la placa, más energía producirá; pero esto es un error, puesto que las celdas de las placas fotovoltaicas trabajan con la radiación de la luz solar, un concepto no muy alejado de la temperatura pero que no va ligado a ésta a la hora de la producción de energía. Siguiendo ciertos pasos para ver cómo afecta la temperatura sobre una placa y teniendo ya previamente aprendido los anteriores conceptos, partiremos asignando de manera aleatoria una irradiancia de 800W/m^2, paso secundario será consultar la ficha de características técnicas del fabricante (imagen de catálogo de la placa KM250) y fijarnos en los siguientes parámetros:

NOCT: En español Temperatura de operación nominal de la célula (TONC), es la temperatura que alcanzan las células solares dependiendo de la temperatura exterior y la

irradiación solar. Este valor suele estar entre 43 y 47ºC; cuanto menor sea, mejor. La de nuestra placa es 47±2 °C, pero como valor de referencia para conveniencia de cálculos usaremos 45ºC.

Coeficiente de temperatura de Potencia: Es la pérdida porcentual de potencia por cada grado por encima de los 25ºC. Normalmente entre -0,43 y -0,47%/ºC. Cuanto menor sea, mejor. El de nuestra placa es -0,47%/°C.

Coeficiente de temperatura de Voc: Es la pérdida porcentual de tensión de circuito abierto de la placa solar por cada grado de diferencia entre la temperatura ambiente de referencia 25ºC y la temperatura de operación de las células. Normalmente entre -0,33 y -0,35%/ºC. Cuanto menor sea, mejor. El de nuestra placa es -0,35%/°C.

Coeficiente de temperatura de Vmp: Es la pérdida porcentual de tensión de máxima potencia por cada grado de diferencia entre la temperatura ambiente de referencia 25ºC y la temperatura de operación de las células. Normalmente entre -0,36 y -0,39%/ºC. Cuanto menor sea, mejor.

La temperatura de trabajo de la celda está relacionada con la temperatura ambiente y la irradiación, y se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$Tc = Ta + G * \frac{TONC - 20}{800}$$

Donde;

Tc: Temperatura de trabajo de la célula (ºC)

Ta: Temperatura ambiente (ºC)

TONC: Temperatura de operación nominal de la célula (ºC)

G: Irradiancia (W/m^2)

Cabe destacar que este cálculo se puede hacer sólo para un determinado instante de tiempo que define una temperatura exacta ambiental. Si se quiere tomar otra hora del día u otra estación del año, cambiará la temperatura ambiente por lo que se requerirá hacer un nuevo cálculo.

Si consideramos una irradiancia de 800W/m^2 (considerando pérdidas) y una temperatura exterior de 20ºC;

La temperatura de trabajo de las células solares estará definida en:

$$Tc = 20 + 800 * \frac{45 - 20}{800} = 45$$

Por lo que tenemos una variación de temperatura de operación de la célula de: 45ºC – 25ºC = 20ºC [Tc-Ta] sobre las condiciones estándar de medida.
Si nuestra placa solar tiene un coeficiente de temperatura Voc de -0,35%/ºC y un Voc = 37,5V; entonces:

- Caída de Tensión por cada voltio:

  $$Voc = \frac{-0.35 * 20}{100} = -0.07V$$

- Caída total de Voc:

  $$Voc = -0.07 * 37.5 = -2.625V$$

Por lo tanto, con temperatura exterior de 20ºC la Voc de la placa solar sería 34,875V

*Para efectos estándares, la temperatura de operación de la célula se suele asumir a unos 25ºC superior a la temperatura exterior.
*La temperatura de operación de la célula afecta notablemente la tensión de salida de las placas solares
*Mayor temperatura –> Menor tensión de salida. Es importante tener en cuenta para que la tensión de las placas solares sea siempre 2 voltios superior, como mínimo, a la tensión de batería.
*Menor temperatura –> Mayor tensión de salida. Es importante tener en cuenta para no sobrepasar la tensión máxima permitida a la entrada de los reguladores e inversores.

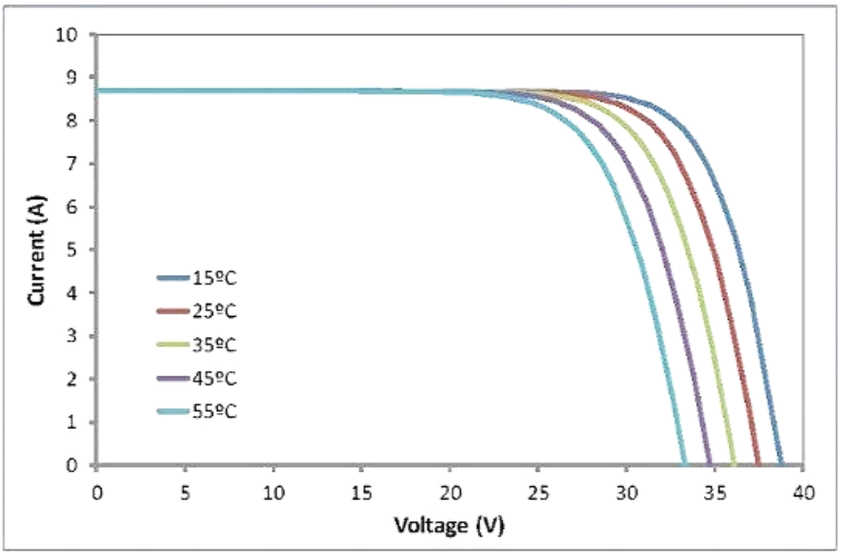


Figura 3.4: Efecto de la temperatura sobre las celdas

®Monsolar. (2018). Cómo afecta la temperatura a una placa solar. Recuperado de https://www.monsolar.com/blog/wp-content/uploads/2017/07/efecto_temperatura_en_placas_solares-300x196.jpg

4. Peak Sun Hour (PSH) u Hora solar pico

Si bien la cantidad de luz solar que reciben los paneles es importante, una representación más precisa de la cantidad de energía que éstos pueden producir es horas pico de sol. En primer lugar, es importante tener en cuenta que las "horas pico de sol" no son las mismas que las "horas de luz diurna" u horas de exposición solar. Las horas solares pico se refieren específicamente a la cantidad de energía solar disponible en un área durante un día normal. Una hora solar pico, específicamente, es una hora durante la cual la intensidad de la luz solar es de 1,000 vatios por metro cuadrado aproximadamente.
La cantidad de radiación solar, o insolación, emitida por el sol varía a lo largo del día, en función de la posición del sol en el cielo, las nubes y otras condiciones atmosféricas. Especificamos 3 que son las de rasgos más importantes a considerar:

- **Hora del día:** la radiación solar máxima ocurre al mediodía, cuando el sol está en el punto más alto en el cielo. El ángulo bajo del sol al amanecer y al atardecer significa que la atmósfera filtra más la luz del sol y da como resultado que se entregue menos energía a la superficie de la tierra.

- **Estaciones:** las horas del sol aumentan durante el verano debido a la posición más alta del sol en el cielo.

- **Geografía:** la energía solar aumenta mientras más cerca se encuentre del ecuador, ya que está más cerca del sol por medio de la explicación del factor AM previamente definido.

Si bien los paneles pueden recibir un promedio de 7 horas de luz diurna efectiva por día, el promedio de horas peak de sol puede estar más cerca de 3 o 4.

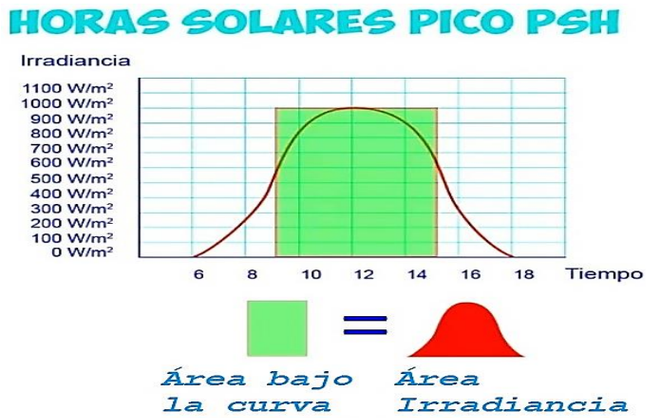


Figura 4.1: Hora solar pico

Stefani J. (2014). Capítulo I.V Irradiancia – Irradiación. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=tpvyVLHNKBY&

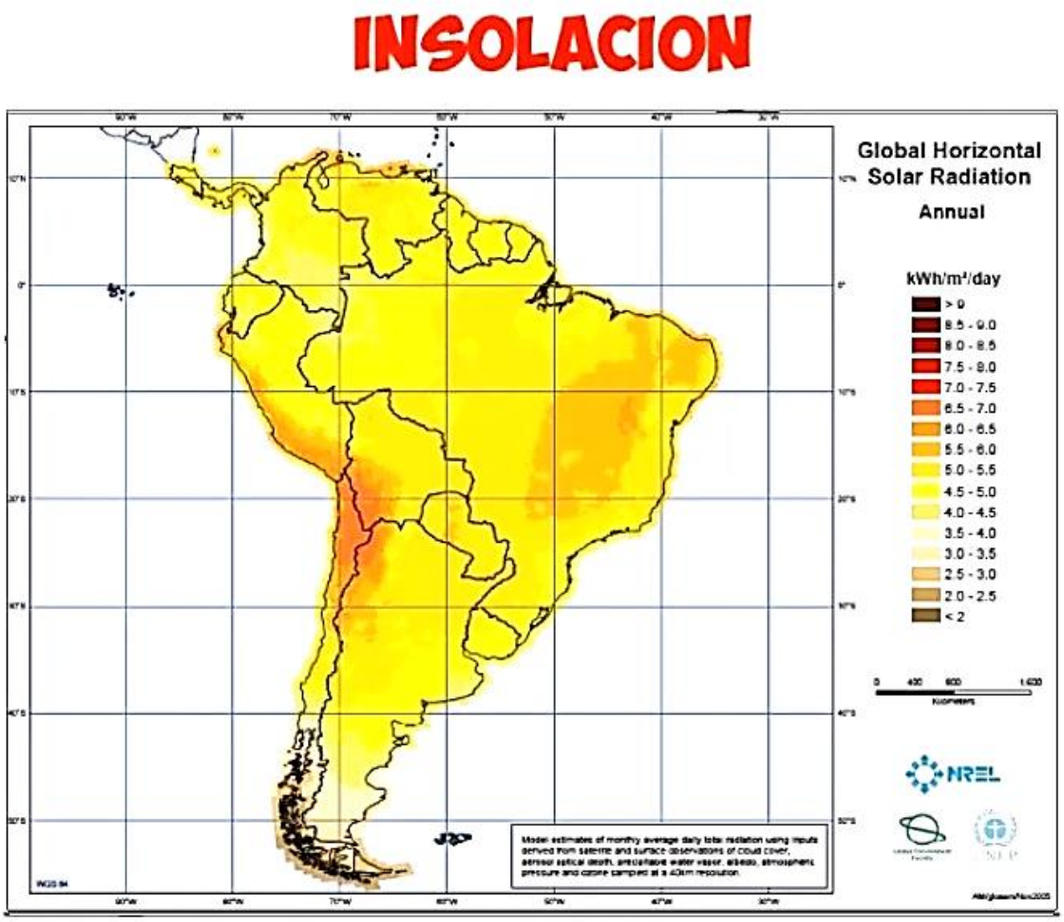


Figura 4.2: Insolación

Stefani J. (2014). Capítulo I.V Irradiancia – Irradiación. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=tpvyVLHNKBY&

Tenemos una situación para ejemplificar por medio de este gráfico, la comparación de Irradiancia vs tiempo, éste último en horas y representa el giro completo del reloj al día desde las 00:00 hrs iniciales hasta acabar el día nuevamente. Tenemos una curva en celeste, se expresa a través de ésta el resultado de la exposición a la luz solar del panel, ésta sólo considera la exposición a la luz del día; y en morado se expresa el área bajo la curva integrada de la exposición anterior, la cual detalla en sí la exposición como peak solar del día 1000W/m^2. Con el concepto de PSH lo que se busca es basar la irradiancia sobre unidad de tiempo, tomando como ejemplo el gráfico muestra una exposición del panel de las 09:00 hrs a las 15:00 hrs con exposición peak constante que se traduce en 6PSH (6 horas solares pico), y en términos de medición como 6KWh/m^2 día.

Ahora bien, volviendo a las condiciones STC es donde mezclamos este concepto junto con la insolación, tenemos un mapa con la insolación sobre América Latina otorgado por la NREL (National Renewable Energy Laboratory) Laboratorio Nacional de Energía Renovable en E.E.U.U, el cual indica para nuestra región un índice entre 4.0-4.5 KWh/m^2 día; hemos de tomar este Índice de radiación y multiplicarlo por la capacidad de potencia nominal que nos especifica nuestra placa solar bajo condiciones STC:

$$Wh = Pnominal * Iradiacion$$

Consiguiendo así un intervalo de Wh:

$$Wh = 250 * 4.0 = 1000 \quad ; \quad Wh = 250 * 4.5 = 1125$$

Ante todo esto, nos hemos visto forzados a potenciar la cantidad de información teórica, pues queremos como estudiantes de la Universidad Técnico Federico Santa María basar sobre este trabajo, futuros análisis y fundamentar todo tipo de estudio sobre esta información.

4.1. Posición de la placa considerando ángulo de exposición y ángulo de elevación

Tenemos un ángulo sencillo de definir que es el de exposición, éste nada más se ve afectado por un plano horizontal en donde se debe considerar en la zona de Concepción estar colocando la placa donde más se aproveche el sol desde las 11:00 hrs hasta las 15:00 hrs aproximadamente (está siempre sujeto al día y estación del año, fuera de eso, éstas son las horas estándar) ya que estas son las horas por estudios de la Información Meteorológica de Chile donde más radiación se recibe.

Por otro lado, para el ángulo de elevación, ésta se regirá por previamente saber si podremos trabajar con placas que pueden ser "movibles" de su posición o si van a ser colocadas para no ser movidas. Tanto en la temporada de verano como en invierno, la altura con la que se coloca el sol no es la misma, varía dependiendo de la estación del año. Para nuestro hemisferio sur, específicamente la zona de Concepción, durante el invierno el sol está más lejos de la tierra provocado por la inclinación que tiene esta misma en su movimiento de traslación, lo que hace que la altura máxima del sol en el cielo durante el invierno sea menor que en el verano.

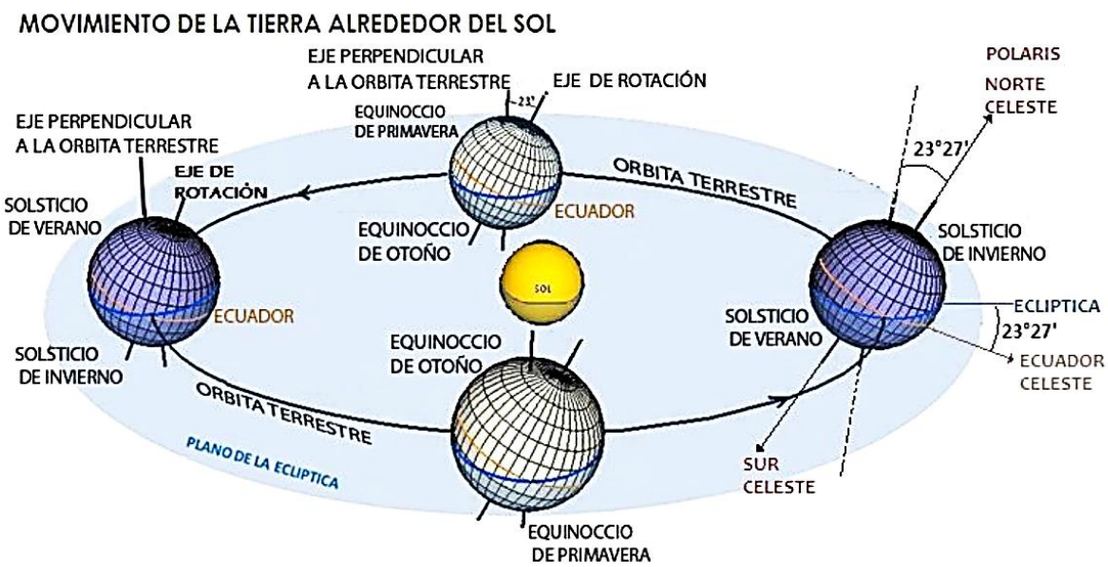


Figura 4.3: Posición de placa considerando ángulo de exposición y ángulo de elevación

Fierro J. Modelo para representar la trayectoria del sol sobre el globo terrestre. Recuperado de http://www.astroscu.unam.mx/~julieta/descargas/online/Taller-%20Modelo%20Trayectoria%20del%20Sol.pdf

Esta variación de la altitud del sol puede hacer perder un poco la eficiencia con la que podríamos estar empleando nuestros paneles solares, en la siguiente imagen se puede

figurar cómo podría mejorarse la eficiencia para las 2 épocas del año para que no se pierda nada de energía que se pudiese generar:

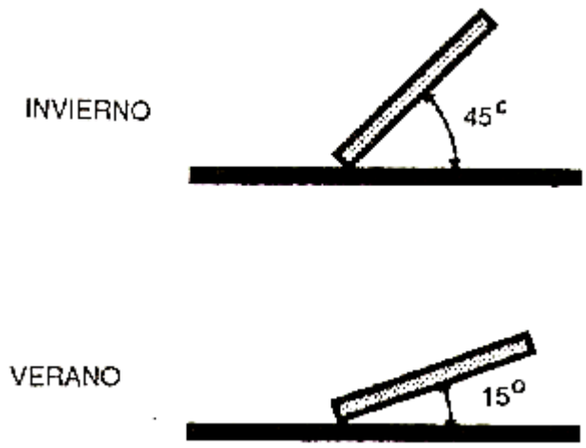


Figura 4.4: Demostración gráfica de posición optima

Giordano M. (2015). Energía Solar Térmica. Recuperado de http://photos1.blogger.com/blogger/3957/1906/400/Energ%3F%3Fa%20solar%20t%3F%3Frmica%207.jpg

Como ya se dijo en invierno el sol pasa más bajo por el cielo, por lo que se hace necesario aumentar el ángulo de elevación a unos 45° de nuestras placas solares (respecto a tierra) para así aprovechar al máximo el rendimiento, no así en verano pues el sol está más alto y deberíamos hacer el efecto contrario, bajar el ángulo de elevación de las placas a 15° para sacar tope máximo a la eficiencia durante esta época.

No obstante, si tratásemos con placas solares no movibles, aquellas que son instaladas para no ser movidas más, pues hay una opción, es la siguiente:

Figura 4.5: Representación óptima de anclaje de paneles

Giordano M. (2015). Energía Solar Térmica. Recuperado de http://photos1.blogger.com/blogger/3957/1906/400/Energ%3F%3Fa%20solar%20t%3F%3Frmica%207.jpg

;colocarla a un ángulo de elevación de 31,5° que es casi el punto medio entre las 2 elevaciones de verano e invierno, esto con el fin de no perder eficiencia ni por una ni por la otra época del año, pero claro está que su rendimiento no será el mismo a la hora de compararla con variar el ángulo de elevación.

5. Configuración de conexión de placas solares

5.1. Conexión serie de placas solares

Primero que todo sabemos que existen diferentes tipos de mediciones en los mismos puntos tanto como para tensión o intensidad para calcular valores de trabajo de estas mismas variables, teniendo:

- **Vmp** Es el voltaje de trabajo a máxima potencia de una placa solar. Se utiliza para calcular el voltaje de trabajo de las placas solares
- **Imp** Es la corriente de trabajo a máxima potencia de una placa solar. Se utiliza para calcular la corriente de carga de las placas solares.
- **Voc** Es el voltaje de circuito abierto. Se utiliza para calcular el máximo voltaje que puede alcanzar una placa solar.
- **Isc** Es la corriente de cortocircuito. Es la máxima corriente que puede alcanzar una placa solar.

Sabiendo que trabajamos con la tensión y la intensidad de las placas, definimos el conectar placas solares en serie para sumar tensiones cuál si de baterías se tratase, la corriente bajo esta configuración se mantiene igual.

- **Para conectar 2 placas solares en serie**

Llevamos el **cable +** de la placa 1 al **terminal +** del regulador solar, controlador, inversor, o lo que se tenga a la salida, así también conectamos el c**able –** de la placa 1 con el **cable +** de la placa 2. Finalmente llevamos el **cable –** de la placa 2 al **terminal –** del regulador solar o lo que haya a la salida.

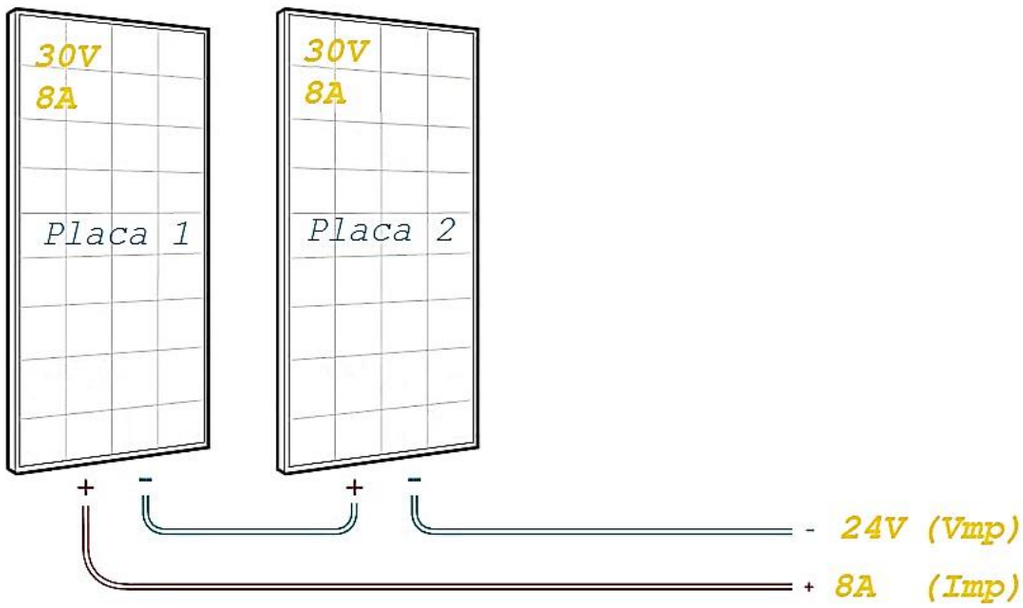


Figura 5.1: Representación de conexión en serie de dos paneles

Podemos ver un ejemplo de conexión en serie de 2 placas solares de 30V como las que tenemos en disposición.

- El voltaje del conjunto será la suma del voltaje de cada placa solar: 30V + 30V = 60V
- La corriente del conjunto será la misma que la corriente de cada placa solar: 8A.

Podemos ver como 2 placas solares de 30V en serie equivalen a 1 placa solar de 60V.

Bien, bajo este criterio y aplicado a nuestra proposición, necesitaremos 1 rama de 3 placas solares conectadas en serie.

Llevamos el **cable +** de la placa 1 al **terminal +** del regulador solar, conectamos el **cable –** de la placa 1 con el **cable +** de la placa 2, seguido de conectar el **cable –** de la placa 2 con el **cable +** de la placa 3 y finalmente conectamos el **cable –** de la placa 3 al **terminal –** del regulador solar.

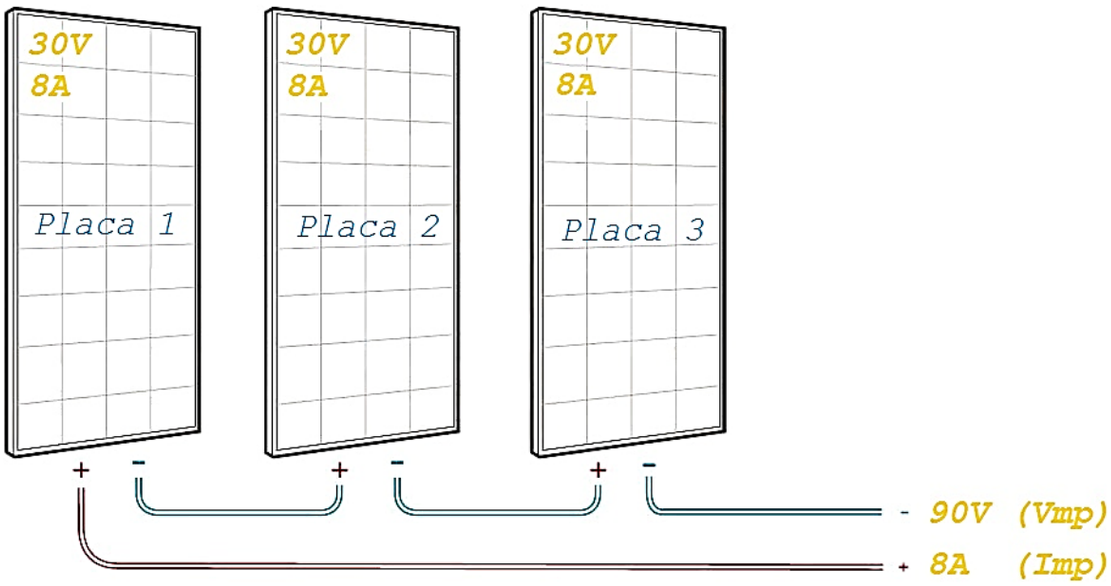


Figura 5.2: Representación de conexión en serie de 3 paneles

En la imagen se puede ver un ejemplo de conexión en serie de 3 placas solares de 30V.

- El voltaje del conjunto será la suma del voltaje de cada placa solar: 30V + 30V +30V = 90V
- La corriente del conjunto será la misma que la corriente de cada placa solar: 8A

5.2. Conexión paralela de placas solares

Bajo la misma premisa, ahora para la conexión en paralelo de estas placas definimos que las conectamos en paralelo para aumentar la corriente del conjunto. El voltaje del mismo se mantiene igual y no varía.

- Para conectar 2 placas solares en paralelo
    - Conectamos el **cable +** de la placa 1 con el **cable +** de la placa 2, y la unión de ambas va al **terminal +** del regulador solar, paso seguido conectamos el **cable –** de la placa 1 con el **cable –** de la placa 2. La unión la llevamos al **terminal –**del regulador solar

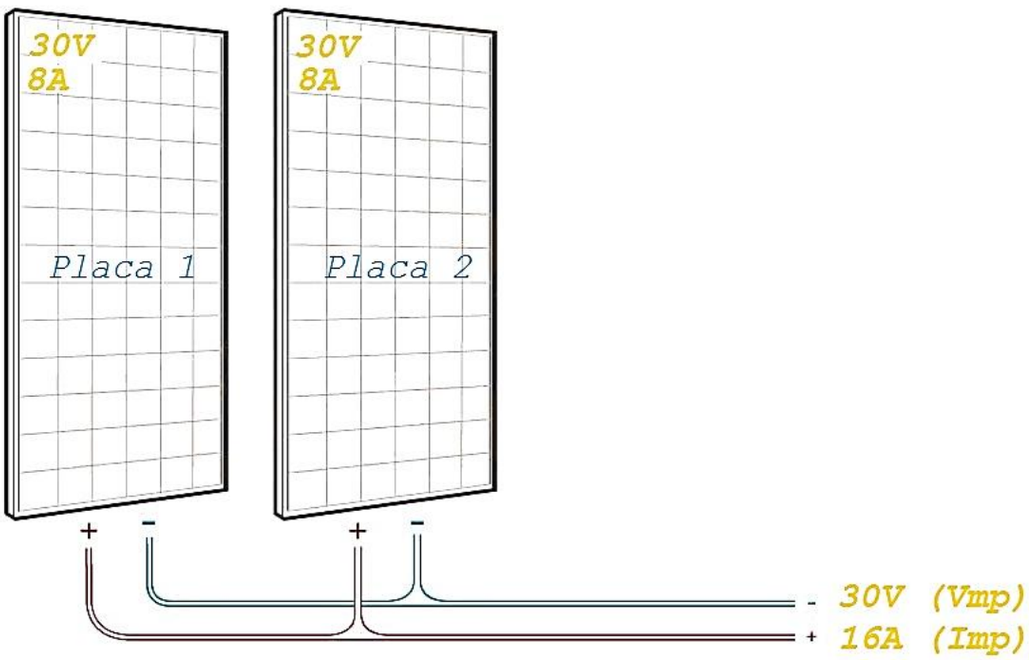


Figura 5.3: Representación de conexión en paralelo de 2 paneles

En la imagen superior podemos ver la conexión en paralelo de 2 placas solares de 30V.

- La corriente del conjunto es la suma de la corriente **Imp** de cada placa solar: 8A + 8A = 16A
- El voltaje del conjunto se mantiene igual al voltaje de una placa solar **Vmp**: 30V

Bajo este criterio y aplicado a nuestra proposición, necesitaremos de 3 conexiones en paralelo, para ello:

- Conectamos los **cables +** de las 3 placas solares juntos y la unión la llevamos al **terminal +** del regulador solar, seguido de conectar los **cables –** de las 3 placas solares juntos y la unión la llevamos al **terminal –** del regulador solar.

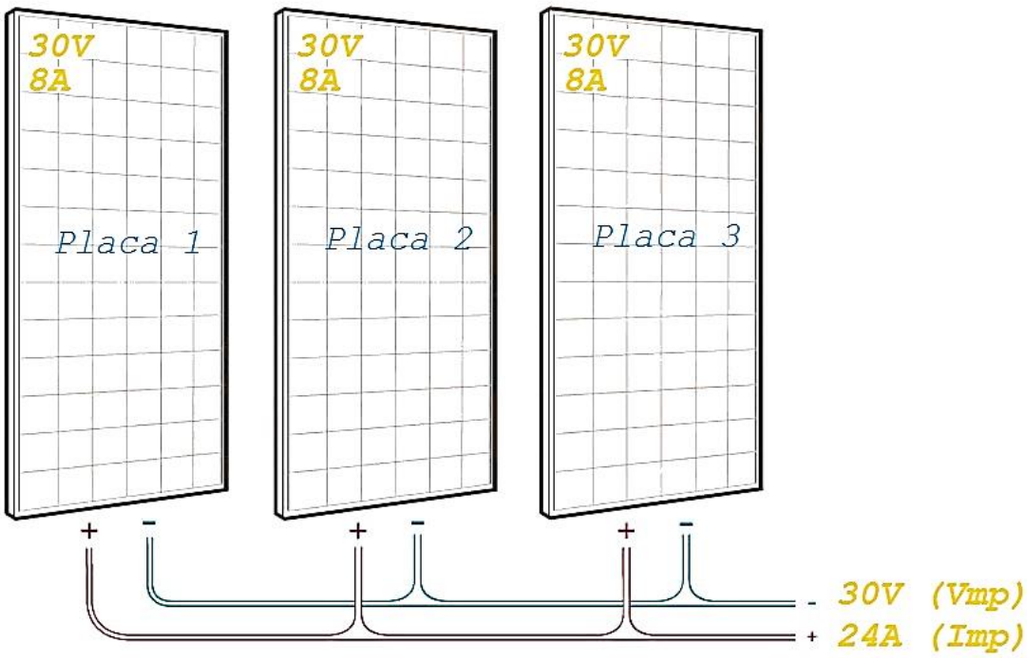


Figura 5.4: Representación de conexión en paralelo de 3 paneles

En la imagen superior podemos ver la conexión de 3 placas solares de 24V en paralelo

- La corriente del conjunto es la suma de la corriente **Imp** de cada placa solar: 8A + 8A + 8A = 24A
- El voltaje del conjunto es igual al voltaje de cada placa solar **Vmp**: 30V

La conexión en paralelo es un tanto más sencilla que en serie, se puede apreciar que es unir simplemente todos los terminales de la misma polaridad lo cual facilita la configuración de conexión.

5.3. Conexión mixta de placas solares

La conexión serie-paralelo de placas solares es la más habitual en instalaciones de media-alta potencia con utilización de reguladores solares MPPT. Debemos de saber que conectamos placas solares en **serie-paralelo** para aumentar tanto la corriente como el voltaje del conjunto.

Para conectar 4 placas solares en 2 serie 2 paralelo
Conectar el grupo 1 de placas solares en serie.

- Conectar el **cable –** de la placa 1 con el **cable +** de la placa 2
- Conectar el grupo 2 de placas solares en serie
- Conectar el **cable –** de la placa 3 con el **cable +** de la placa 4

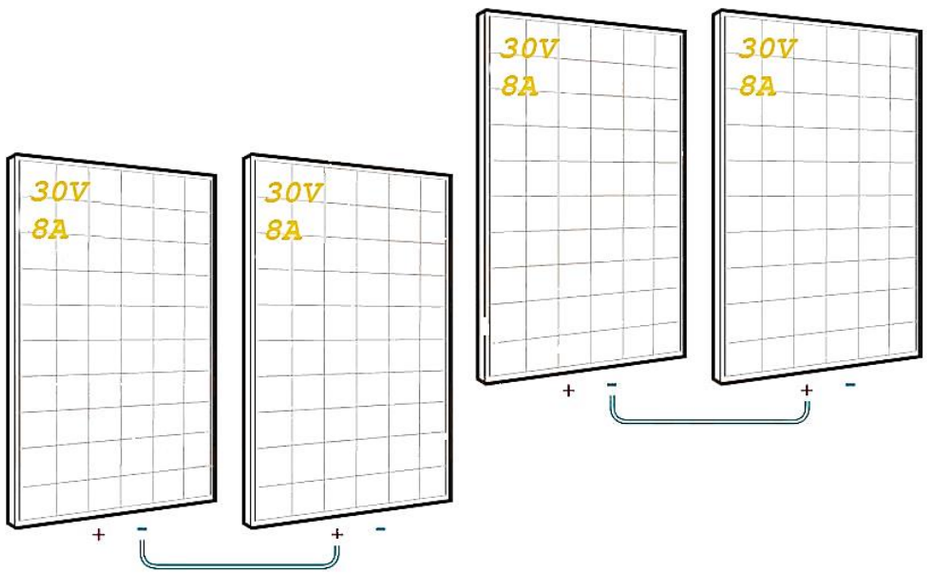


Figura 5.5: Representación de conexión mixta de dos grupos, primer paso

Conectar el grupo 1 y grupo 2 en paralelo

- Conectar los **cables +** de las placas 1 y 2 al **terminal +** de regulador solar
- Conectar los **cables –** de las placas 2 y 4 al **terminal –** de regulador solar

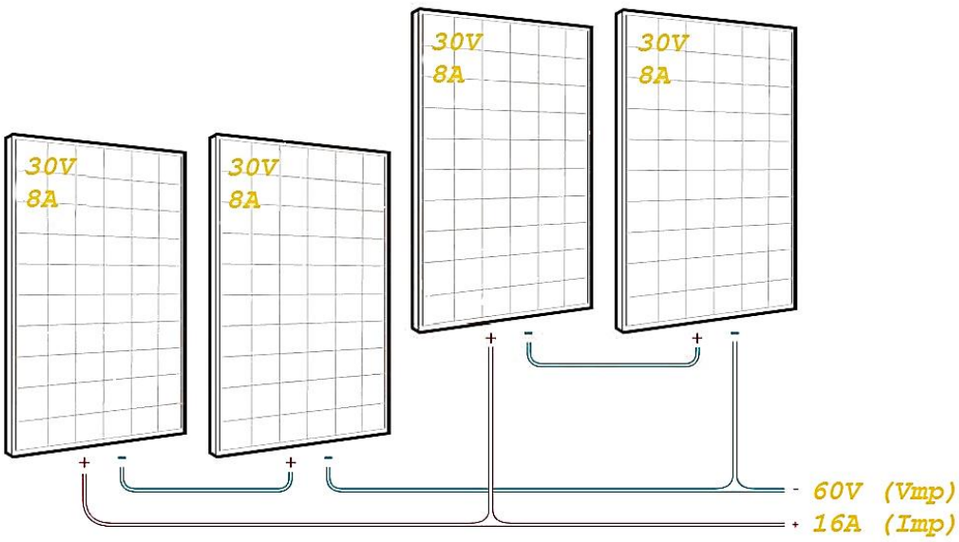


Figura 5.6: Represetanción de configuración mixta de dos grupos, segundo paso

En la imagen superior tenemos un ejemplo de 4 placas solares de 60 celdas conectadas en configuración mixta (serie-paralelo)

- La corriente del conjunto es la suma de la corriente **Imp** de cada placa conectada en paralelo: 8A + 8A = **16A**
- El voltaje del conjunto será la suma del voltaje **Vmp** de cada placa solar conectada en serie: 30V + 30V = **60V**

Luego de esto yendo paso por paso, llegamos a lo que nosotros hemos configurado como etapa final, para darle utilización a las 9 placas solares y buscar los valores de voltaje y corrientes más propicios para el circuito, procurando no dañar ningún equipo y poder trabajar dentro de los márgenes de parámetros permitidos por cada uno de ellos, es por lo que definimos una configuración final de 3 ramas de 3 placas solares en series y éstas conectadas en paralelo, para finalmente obtener mediante la suma de corrientes y voltajes Imp y Vmp respectivamente:

8A + 8A + 8A = **24A**

30V + 30V + 30V = **90V**

6. Tipos de Baterías

La principal función de las baterías para paneles solares radica en almacenar energía solar durante las horas con exposición al sol para ser utilizada durante la noche o por periodos prolongados con poca iluminación o mal clima. Saber cuál es la batería indicada para nuestro sistema de generación fotovoltaico consiste principalmente en aquella que se adapte mejor a nuestras necesidades.

Las baterías son la parte central del sistema, como el corazón mismo de éste, si eligiéramos una batería pequeña comparada como a la del corazón de un gato, ésta no sería suficiente para mover un elefante, y el del elefante es demasiado grande para un gato, por lo que se infiere que todas las baterías solares no son igualmente válidas para una misma instalación. Por tanto, hay que saber qué prestaciones de cada tipo de batería para adecuarla a las necesidades de cada uno.

Siguiendo una ramificación inicial de tipo de baterías existentes, podemos encontrar la siguiente lista con sus respectivos subconjuntos:

- De Plomo-Ácido
    - De Níquel
    - De Níquel-Hierro (Ni-Fe)
    - De Níquel-Cadmio (Ni-Cd)
    - De Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH)
- De Litio
    - De Iones de Litio (Li-ion)
    - De Polímeros de Litio (LiPo)
- De Combustible
- Condensador de Alta Capacidad

Sin embargo, las de mejor tipo para la carga y todo el sistema estudiado son las baterías de plomo-ácido, ya que poseen características que favorecen el ámbito para el cual está siendo instalada.

Como punto central es importante tener en cuenta 2 tipos de formatos en los cuáles se hacen las baterías, determinados por su consumo, capacidad de acumulación, vida útil, dimensiones físicas, precio en el retail, etc; éstas son:

- Baterías monoblock

Son pequeñas y de una sola pieza, semejantes en tamaño a las de los coches. Tienen menor capacidad de acumulación y duran menos que las estacionarias por lo que son recomendables para instalaciones con un consumo bajo (generalmente iluminación, tv, PC y nevera). Su mayor demanda se debe a que son económicas, haciéndolas atractivas en el corto plazo.

- Baterías estacionarias

Son bastante más grandes, llegan hasta la rodilla y las más grandes hasta la cintura. Son módulos de 2V, debiendo unirse 6 elementos o vasos para formar 12V. Son capaces de almacenar mayor cantidad de energía y sobretodo duran mucho más, en torno a 15-20 años, haciéndolas especialmente indicadas para consumos medios-altos (iluminación, tv, PC, nevera, micro, lavadora, depuradora) sin posibilidad de ampliar hasta el largo plazo.

Con estos datos podemos ver como las baterías se diferencian según el consumo en pequeñas que son las monoblock y grandes que son las estacionarias según sus dimensiones físicas. Si queremos una batería para un consumo bajo y con posibilidad de ampliar en unos años es acertado elegir una monoblock. Si queremos una instalación para un consumo medio-alto para muchos años, nuestra elección debería decantarse por una batería estacionaria.

Nuestra inquietud se refiere a la posibilidad de tener un consumo por el bajo orden y que la batería tuviese una vida útil más larga. Eso es lo elemental en este estudio, dado a que el consumo de este trabajo no está por el alto orden y además de que lo ideal sería una batería que no necesitase de mantención constante y su vida útil fuera prolongada para evitar el recambio cada cortos períodos de tiempo, lo que eleva claramente el costo. En este caso, están las baterías monoblock de ciclo profundo. Estas baterías tienen un formato como las monoblock, pero son un poco más grandes y están pensadas para

instalaciones de uso diario, ya que tienen mayor durabilidad, en torno a 3-4 veces más que una monoblock normal, pudiendo llegar hasta los 6-7 años. Así también reducimos la necesidad de estar invirtiendo cada 2-3 años en baterías como nos pasaría si eligiéramos una monoblock normal y tuviésemos un uso diario.

Teniendo en claro este tipo de clasificación, unamos el punto anterior de las baterías de plomo-ácido para converger en la explicación de por qué éstas son las que nos convienen a utilizar. Hay 3 tipos de batería de plomo-ácido detallados a continuación:

- Baterías de plomo-ácido abiertas (monoblock o estacionarias)

Necesitan mantenimiento anual del nivel de electrolito al sufrir evaporaciones. Al tener evaporación de gases no pueden instalarse en caravanas o lugares sin ventilación. Las monoblock de este tipo tienen una durabilidad menor al resto.

- Baterías AGM (monoblock)

Fabricadas con un separador especial a base de fibra de vidrio absorbente (AGM, por sus siglas en ingés). El electrolito se introduce en una cantidad controlada para que el separador lo absorba. No necesitan mantenimiento del nivel de electrolito al estar retenido en la fibra de vidrio absorbente. Por ello son baterías selladas y no sufren evaporación, siendo especialmente indicadas para caravanas o sitios cerrados sin ventilación.
Estas baterías, que también utilizan plomo-ácido como electrolito, tienen una resistencia interna muy baja en comparación con las de plomo-ácido abiertas. Esto les permite tener tasas más altas de corriente eléctrica en la carga y en la descarga, es decir, son más rápidas y pueden hacer frente a motores de arranque sin dañarlas. Las baterías AGM también tienen una resistencia mayor a las temperaturas extremas. Además, duran más tiempo que las plomo-ácidas abiertas.

- Baterías GEL (monoblock o estacionarias)

En este tipo de baterías el electrolito está contenido en un gel de sílice especial en el que se introduce el grupo de placas. Por tanto, también son baterías selladas como las AGM y no precisan de mantenimiento. En cambio, sufren a temperaturas extremas, aumentando el volumen del gel (y la presión interna) con elevadas temperaturas. Este deterioro ocasiona mal funcionamiento y una vida útil menor. El frío en cambio,

aumenta la resistencia interna y dificulta la disponibilidad de energía. En definitiva, las baterías GEL son más aptas para instalaciones que primen la disponibilidad de energía antes que disponibilidad de potencia.

7. Cálculo de baterías para sistema fotovoltaico

Para realizar el cálculo de la batería y/o banco de batería a utilizar, debemos tener en enfoque la carga a disposición y la cantidad de horas que ésta estará en funcionamiento, con estos dos parámetros definidos podremos determinar el consumo en Wh producido por nuestra carga. Tenemos una carga de 1800[W] aproximadamente en iluminación y a un uso de 8 horas diarias a plena carga, multiplicando estos valores obtendremos un resultado de 14.400[Wh] diarios.

Hay que tener en claro que las baterías no basan su capacidad en potencia (W o Wh) con lo cual no vamos a encontrar en el retail baterías con 14.000 Wh por ejemplo, sino que encontraremos baterías en base a su capacidad y estas son medidas en Ah.

Ahora bien, tenemos el dato de 14.400[Wh], y necesitamos limitar el voltaje de las baterías a 12[V] por conveniencia al proceso posterior de elevación de tensión, y procedemos a calcular la capacidad necesaria para esta situación, en primera instancia con una efectividad del 100%, despreciando pérdidas:

$$Capacidad = \frac{14400Wh}{12V}$$
$$Capacidad = 1200Ah$$

Bien, nuestro cálculo arroja que es necesario una capacidad de 1200Ah para abastecer a la carga durante 8 horas continuas, pero debemos de tener en cuenta algunos factores de corrección.

1. **Rendimiento de la Batería:** Las Baterías no se deben descargar al 0%, esto limita y acorta bastante su vida útil, se recomienda nunca bajar del 50% de la carga total de la batería “por seguridad”, para así asegurar la permanencia en el tiempo de la batería. Esto convierte inmediatamente el valor de nuestra capacidad en un 50% utilizable y el otro 50% de “seguridad”, por lo que nuestro valor de capacidad ya tendrá que ser aumentado al doble.

2. **Factor de transformación:** Las cargas que contamos están en corriente alterna, con lo cual necesitaremos un inversor, esto agrega a la ecuación un 10% adicional que se pierde en la transformación.

- Teniendo todo esto en cuenta:

Potencia diaria: 14400[W/h]
Rendimiento de baterías (50%): 28800[W]
Pérdida por Inversores
$28800 * 1,1 = 31680[W]$

Cálculo de batería
$\frac{31680}{12} = 2640Ah$

A través de este cálculo definiríamos el tener que usar una batería de 12V x 2640A para mantener la carga en uso por las 8 horas definidas.

Claramente no podremos encontrar una batería exactamente a una capacidad de 2640 Ah por lo que se recomienda encontrar una que sobrepase este valor para evitar posibles inconvenientes. Como opción alternativa se tiene el colocar baterías de 12 V en paralelo (cumpliendo el mismo principio de las placas solares) para así mantener la tensión e ir sumando la corriente y así llegar a un valor que sobrepase los 2640Ah, esto en base a lo que salga más económico si así se requiere para lograr el valor deseado.

Como dato anexo para mejorar el sistema se puede contar con baterías de extrema calidad las cuales en su rotulado expresan la libertad de poder ser descargadas hasta un 30% de su capacidad, pero con lo cual lleva consigo una elevadísima distancia en precios con una batería de calidad media.

Y por el lado de los inversores también se puede mejorar el rendimiento, pues radica en ellos la diferencia con el tipo de señal que trabaja el inversor (modificada o pura), esto está asociado al rendimiento y al consumo de los equipos. Hay equipos de alta calidad con un rendimiento del 97% de efectividad, mientras que otros equipos de baja calidad tienen un rendimiento del 87%. La banda es de 3% a 13% de pérdidas producidas por la transformación, factor a considerar a la hora de hace el cálculo de baterías.

8. Sistemas de control de carga

Existen distintas formas de carga de una batería, para explicar de mejor forma la carga de una batería basta con saber el principio básico para efectuar una carga que es simplemente la utilización de una diferencia de potencial mayor en el elemento cargador y la menor en la batería a cargar. Es por ello que existen distintos tipos de controladores que monitorizan y ejecutan la carga de una batería. Existiendo los siguientes tipos de estrategias de control:

8.1. Control On - Off:

El control discreto on-off es sin duda la forma más fácil de implementar una carga, si bien es cierto que los controladores que utilizan este método poseen un bajo nivel de electrónica asociada, su uso es más bien poco utilizado por las grandes desventajas que lleva su implementación. A pesar de ello, si existen controladores que lo utilizan y nos lleva a su estudio.

8.2. Control por Anchura de pulsos (PWM):

El PWM consiste en enviar un tren de pulsos de tensión mayor a la de la batería donde el más alto porcentaje de pulsos se envían cuando la batería posee un nivel bajo de batería y no se envían cuando la batería está cargada. Los controladores que utilizan este tipo de control son de mayor envergadura, llevan consigo otros componentes de monitorización y normalmente están dimensionados por la cantidad de corriente a la que se requiere. Su costo es más elevado pero su funcionamiento alarga la vida útil de las baterías y nos entrega un constante control de lo que sucede en nuestro almacenador de energía.

8.3. Control de seguimiento de punto de máxima potencia (MPPT)

Un regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking, o seguidor del punto de máxima potencia) a diferencia del regulador PWM que dispone del diodo de protección, está compuesto a su vez de un convertidor de tensión CC-CC y de un seguidor del punto de máxima potencia. Con esto se consigue que se pueda trabajar a diferentes potencias en el campo fotovoltaico y en las baterías (convertidor de tensión CC-CC). A su vez el

seguidor MPPT adapta la tensión de funcionamiento en el campo fotovoltaico a la que proporcione la máxima potencia.

La diferencia principal del MPPT con el PWM es que en términos de energía, la que entra y sale del controlador es la misma, pero en el MPPT la tensión y la corriente son diferentes en la entrada y en la salida. Esto permite un aumento de la tensión del panel solar y aumenta la producción solar en hasta un 30% respecto a los controladores PWM. Es especialmente útil también en momentos de sombreados parciales debido a la nubosidad temporal.

Como ventaja, al disponer de tensiones elevadas en el campo fotovoltaico, podemos reducir las pérdidas energéticas debido a las bajas tensiones. Esto hace que los controladores de carga MPPT sean muy interesantes y casi obligatorios cuando tenemos campos fotovoltaicos de mediana y elevada potencia, donde se pretende generar el máximo de energía posible.

De esta forma, a diferencia de los PWM, podemos usar paneles de diferentes tensiones (de 36, 60, 72 celdas, etc.) permitiendo un uso más amplio respecto a la potencia de paneles disponibles en el mercado (como por ejemplo los paneles usados comúnmente en instalaciones on-grid), aumentando a su vez un 30% sobre la energía generada por un PWM.

9. Método de elevado de tensión DC.

Debido a la modificación completa del sistema y que nuestro inversor tiene una entrada de 200 a 470 VDC, se nos hace obligatorio elevar la tensión de entrada, ya que disponemos de 12 VDC a través del banco de baterías dispuesto despues del controlador de carga. Recopilamos información de cómo conseguir esta tarea sin afectar el funcionamiento adecuado del sistema, además de no ser tan invasivo y costoso.

9.1.Método de elevador boost:

El convertidor Boost es un convertidor DC a DC que obtiene a su salida una tensión continua mayor que a su entrada. Es un tipo de fuente de alimentación conmutada que contiene al menos dos interruptores semiconductores y al menos un elemento para almacenar energía. El principio básico de este convertidor consiste en dos estados distintos dependiendo del estado del interruptor:

- Cuando el interruptor está cerrado, la bobina almacena la energía de la fuente, a la vez la carga es alimentada por el condensador.

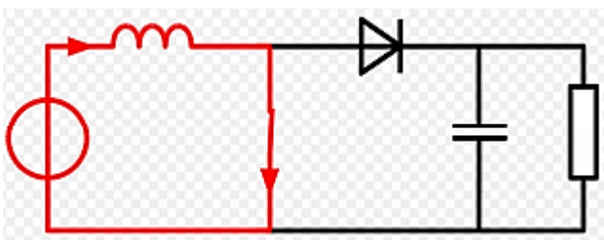


Figura 6.1: Representación de interruptor cerrado en método Boost

- Cuando el interruptor está abierto, el único camino para la corriente es a través del diodo y circula por el condensador (hasta que se carga completamente) y la carga.

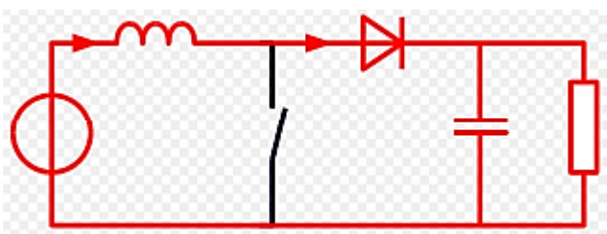


Figura 6.2: Representación de interruptor abierto en método Boost

El método de elevador Boost, se debe construir ya que para alcanzar los valores deseados, se necesita del cálculo de los componentes que lo componen, además de ser necesario modificar el valor de ganancia de la salida, ya que por este método no se puede obtener una ganancia superior a 10 , es decir, por ejemplo, si nuestro banco de baterías fuera de 12 VDC solo podríamos conseguir menos de 120 VDC o en el caso de ser 24 VDC sólo podríamos conseguir menos de 240 VDC.

9.2.Método de inversor-rectificador

Una forma rápida poco invasiva y quizás más económica de realizar este trabajo de adaptación es utilizar un inversor de 12 VDC a 220 VAC, éste método es muy parecido a lo utilizado por la industria llamados HVDC, donde en algunas tareas, se utilizan inversores para luego realizar el aumento de tensión por medio de transformadores para así rectificar la señal a una continua.

Este método puede ser utilizado para la tarea, por algún inversor tradicional con una salida de tensión rectificada, es decir, cercana a una cuadrática, donde el trabajo del rectificado de la señal eliminaría las deformaciones que puede ocasionar un inversor de baja calidad puede otorgar y así entregarnos la señal de entrada necesaria para el inversor.

Los inversores que pueden ser útiles para la utilización de este método son:

Fabricante: Power inverter

Modelo: ONS- 2000P

Potencia nominal: 2000 [W]

Potencia máxima: 4000[W]

Tipo de conversión: Onda modificada

Precio aproximado: $60.000

Figura 7.1: Inversor ONS 2000P

Fabricante: Xu yuan

Modelo: EV 9333

Potencia nominal: 3000 W

Potencia máxima: 6000 W

Precio aproximado: $190.000

Figura 7.2: Inversor EV9333

En general, cualquier inversor que cumpla con el requerimiento de corriente, potencia y tensión tanto de salida como entrada podría ser capaz de realizar esta tarea necesaria.

CAPITULO II EQUIPOS INSTALADOS

10.Inversor ABB UNO 2.0

El inversor UNO 2.0 de ABB adquirido por la universidad presenta en su manual los siguientes datos para la correcta instalación de éste:

Table: Technical Data	UNO-2.0-I-OUTD	UNO-2.5-I-OUTD
Input		
Absolute Maximum DC Input Voltage (Vmax,abs)	520 V	
Start-up DC Input Voltage (Vstart)	200 V (adj. 120...350 V)	
Intervallo Operativo di Tensione DC in Ingresso (Vdcmin...Vdcmax)	0.7 x Vstart...520 V	
Rated DC Input Power (Pdcr)	2100 W	2600 W
Number of Independent MPPT	1	
Maximum DC Input Power for each MPPT (PMPPTmax)	"2300 W Linear Derating from MAX to Null [470V≤VMPPT≤520V]"	"2900 W Linear Derating from MAX to Null [470V≤VMPPT≤520V]"
MPPT Input DC Voltage Range (VMPPTmin,f ... VMPPTmax,f) at Pacr	200...470 V	200...470 V
Maximum DC Input Current (Idcmax) / for each MPPT (IMPPTmax)	12.5 A / 12.5 A	12.8 A / 12.8 A
Maximum Input Short Circuit Current for each MPPT	15.0 A	
Maximum Backfeed current (from AC to DC side)	Negligible	
Number of DC Inputs Pairs for each MPPT	2	
DC Connection Type	Tool Free PV Connector WM / MC4	
Input protection		
Reverse Polarity Protection	Yes, from limited current source	
Input Overvoltage Protection for each MPPT - Varistor	2	
Photovoltaic Array Isolation Control	According to local standard	
DC Switch Rating for each MPPT (-S Version)	16 A / 600 V	
Output		
AC Grid Connection Type	Single phase	
Rated AC Power (Pacr)	2000 W	2500 W
Maximum AC Output Power (Pacmax)	2200 W [4]	2750 W [5]
Rated AC Grid Voltage (Vac,r)	230 V	
AC Voltage Range	180...264 V [1]	
Maximum AC Output Current (Iac,max)	10.5 A	12.5 A
Maximum output fault current	<20Arms (80mS)	
Rated Output Frequency (fr)	50 Hz	
Output Frequency Range (fmin...fmax)	47...53 Hz [2]	
Nominal Power Factor (Cosphiac,r)	> 0.990	
Total Harmonic Distortion of Current	< 2%	
AC Connection Type	Screw terminal block	
Output protection		
Anti-Islanding Protection	According to local standard	
Maximum AC Overcurrent Protection	15.0 A	
Output Overvoltage Protection - Varistor	2 (L - N / L - PE)	

Figura 8.1: Hoja de datos de inversor ABB UNO 2.0

De donde se puede rescatar la información principal para la instalación:

Entrada	Tension maxima de entrada	520 V
	Tension de entrada estandart (aprox)	200 V
	potencia de entrada	2100 W
	corriente max de servicio	12.5 A
Salida	Tension de salida	230 V
	Corriente max	10.5 A
	Potencia	2000 W

Tabla 2.1: Resumen de hoja de datos inversor ABB UNO 2.0

En el mismo manual de ABB se puede encontrar las recomendaciones y su modelo de instalación, el cual presentamos en su diagrama.

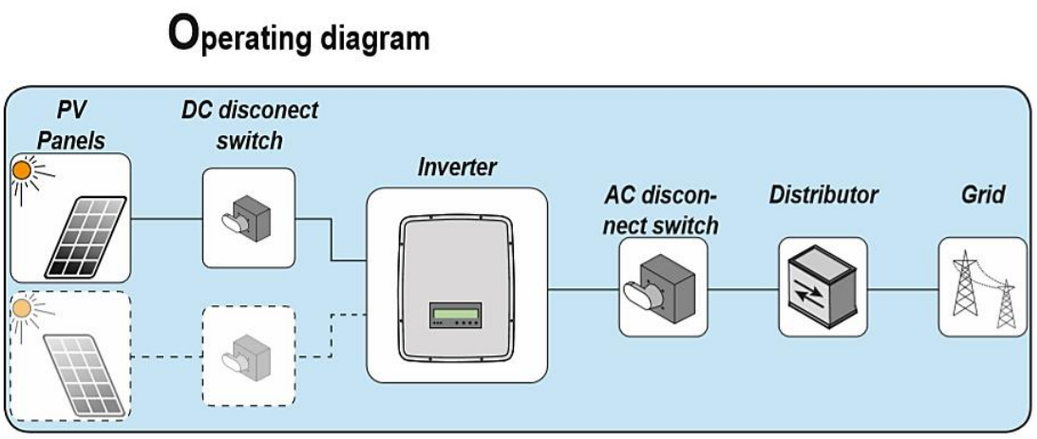


Figura 8.2: Diagrama de operación inversor ABB UNO 2.0

Cómo se observa, para el funcionamiento del inversor se requiere de un medidor Bi-direccional para cuantificar la potencia inyectada a la red, como también la consumida.

11.Especificaciones Placa Solar Instalada

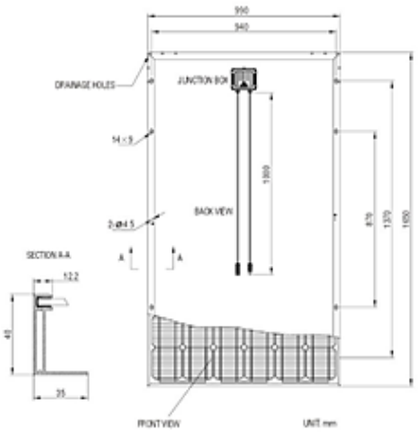
Contamos con un campo de 9 placas solares Komaes Solar Modelo KM250(6), que tiene alrededor de 14,7[m^2] de superficie. Por cada módulo tenemos 60 celdas (6x10) de tipo monocristalina con una alta eficiencia dentro de esta materia, ya que por el lado de celdas llegamos a un 17,3% de eficiencia y como módulo en sí a un 15,3% de eficiencia lo cual es bastante alto, de lo mejor y primera clase dentro del mercado y retail. Cada módulo es capaz de suministrar 250[W] por sí sola, el conjunto complementa un total de 2,25[kW]. A continuación, una imagen de la placa de datos de uno de los módulos del campo de placas:

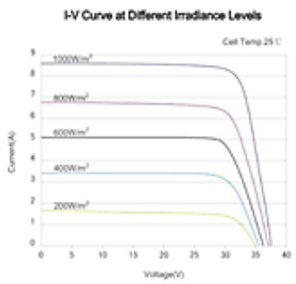
Figura 9.1 Datos de placa, panel fotovoltaico instalado

Éste es el último de los modelos de aquella generación de los KM, en el siguiente catálogo se puede apreciar información más detallada de este modelo correspondiente:

KM225(6)/230(6)/235(6)/240(6)/245(6)/250(6) Komaes Solar

MONOCRYSTALLINE SOLAR MODULE





Electrical Characteristics							
Model Number		KM225(6)	KM230(6)	KM235(6)	KM240(6)	KM245(6)	KM250(6)
Maximum Power as per STC	Pmax(W)	225	230	235	240	245	250
Power Tolerance	%	0/+5%					
Maximum Power Voltage	Vm(V)	30.24	30.48	30.6	30.66	30.98	31.29
Maximum Power Current	Im(A)	7.45	7.6	7.68	7.83	7.91	7.99
Open Circuit Voltage	Voc(V)	36.6	36.6	36.72	36.84	37.38	37.5
Short Circuit Current	Isc(A)	8.1	8.17	8.23	8.32	8.42	8.5
Maximum System Voltage	VDC	1000					
Cell Efficiency	%	15.5	15.9	16.2	16.6	16.9	17.3
Module Efficiency	%	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3
Cells per Module	Pcs	60 (6×10)					
Cell Type		Monocrystalline silicon					
Cell Size	mm	156×156					
Bypass Diodes	Pcs	10Amp, 6 pcs					
Max. Series Fuse Rating	A	15A					
Temperature coefficient of Isc	%/℃	+0.05					
Temperature coefficient of Voc	%/℃	-0.35					
Temperature coefficient of power	%/℃	-0.47					
NOCT- Nominal operating cell temperature	℃	47±2					
Operating Temperature	℃	-40~+85					
Mechanical Characteristics							
Dimensions	mm	1650×990×40					
Weight	Kg	18.8					
Type of Junction Box		TUV certified, IP65					
Cable Type, Diameter		TUV certified, 4mm², 100 cm in length					
Connector		compatible to Type 4 (MC4)					
Tempered Glass		3.2 mm, high transmission, low iron					

STC Conditions: Irradiance of 1000W/m², AM1.5 spectrum , cell temperature of 25℃.
Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice.

Figura 9.2: Hoja de datos de panel fotovoltaico KM250

CAPITULO III EQUIPAMIENTO ADICIONAL

12.Controlador MPPT Fangpusun

Para realizar la tarea de carga del banco de baterías, se necesita un método efectivo y controlado de la carga de ellas, comúnmente existen bancos de 12[v] y de 24 [v], en donde se debe elegir un controlador que cumpla con las especificaciones de entrada como tambien de salida, en nuestro caso en especial, se poseen paneles solares con una potencia máxima en conjunto de 2.250 [W], teniendo en consideración varios factores se debe elegir un controlador óptimo.

Figura 10.1: Controlador de carga MPPT Fangpusun

En especial éste controlador, posee una particularidad bien especial. **Posee un auto selector de tensión de baterías**, es por ello, que es compatible con ambas tensiones comúnmente trabajadas, por otro lado, tiene una capacidad de entrada de **100 [v] y 30 [A]** con un **seguimiento MPPT**, que realizará la tarea sin complicaciones, su autoconsumo es de **20[mA]** para el uso de la pantalla dispuesta en el equipo.

Precio:

$98.000

13.Baterías de gel 12 V ultracell UCG-288-12

Figura 10.2: Batería monoblock de gel UCG-288-12

Debido a la potencia instalada, se necesita una capacidad aproximada de 2640 [Ah] donde en este tipo de baterías, se necesitaría la cantidad de 9 a 10 baterías para la alimentación de al menos 8 horas de autonomía en el sistema fotovoltaico.

Precio

$$393,59EUR \approx 291.834CLP$$

Esto al multiplicarse por la cantidad necesaria que es 10 nos queda un precio aproximado de $ 2.918.340.

14.Batería estacionaria de gel TUDOR 2613 [Ah]

Figura 10.3: Batería estacionaria de gel TUDOR

Dado por la capacidad necesaria para la autonomía del sistema, se puede pensar rápidamente en el formato directo de baterías estacionarias, en donde su funcionabilidad y estética puede ser un aporte significativo para el proyecto a desarrollar.

Su principal característica es la capacidad que poseen este banco de baterías, donde están determinados por valores típicos dependiendo del fabricante y del tipo de baterías. Pero debido a su elevado precio, sólo lo dejamos expresado como para una segunda opción.

Precio

$$5624,87EUR \approx 4.170.655CLP$$

15. Contactor

Figura 10.4: Contactor Mitsubishi con bobina de 220 VAC

Debido a que se necesita de un control adecuado para la conmutación entre la red eléctrica y el sistema fotovoltaico en caso de que el usuario lo amerite o en caso de que el sistema por alguna razón no logre la autonomía necesaria, es necesario un método de accionamiento que sea confiable para la tarea, es por ello que, al entregar un control eléctrico de comando de esta tarea, también se necesita especificar lo necesario para que el equipo ejecute la tarea requerida.

Para la tarea se necesita de un contactor que pueda soportar una corriente en sus contactos de 15 [A], que su bobina de accionamiento sea de 220 [VAC] y que tenga al menos 3 contactos NA. Cumpliendo con esos requerimientos puede ser un equipo candidato para el uso. Nosotros damos como opción viable el Mitsubishi que tiene todos los requerimientos y tiene un costo bajo.

Precio: $16.706

16. Puente rectificador MDQ –100-16

Figura 10.5: Puente rectificador don diodos.

Dado a que la salida del primer inversor es alterna, se debe rectificar con un puente de diodos, en éste caso recomendamos el uso de este componente fabricado para tareas industriales de rectificación de una fase a corriente continua, en donde se asegura qu la corriente máxima es de 100 [A] y una tensión entre los extremos de 1600[V] valores sobredimensionados a los necesarios, pero que garantizan el funcionamiento adecuado del sistema, sin escatimar en gastos elevados.

Precio: $18.990

CAPITULO IV DISEÑO Y PROPUESTA DE SOLUCION

Un sistema fotovoltaico debe presentarse más que como una forma de generación sustentable, como un sistema robusto que sea una alternativa real de alimentación ininterrumpida de suministro eléctrico, es por eso que con el afán de demostrar esa versatilidad y con ánimos de que nuestro taller junto con nuestra universidad obtenga un sello de innovadores y/o promovedores de éste tipo de generación, nos enfocaremos al mejoramiento del sistema ya existente.

En el taller eléctrico existe un equipo inversor UNO 2.0 de ABB, marca de reconocimiento mundial que tiene una amplia gama de equipos de este tipo, en sí el objeto en cuestión es uno de los inversores con mejor rendimiento dentro del mercado, por lo que nos favorece bastante, por otro lado, obtenemos una capacidad instalada de 2250[W] de los paneles fotovoltaicos instalados fuera del taller eléctrico. Pero el sistema en sí, sólo está diseñado para trabajar en configuración On-grid, es decir, junto con la red eléctrica. Esta configuración es tradicional cuando se trata de equipos instalados en ciudad o en alguna empresa, ya que al no tener problemas con la disponibilidad de la red se atreven tímidamente a instalar paneles fotovoltaicos como métodos de prueba y siendo el sistema On-Grid el más económico ya que no necesita baterías que elevarían considerablemente el costo.

Nuestra propuesta viene a dar ese paso que le puede faltar al sistema ya instalado, estudiando la posibilidad de añadir una reserva energética para que la alimentación de la iluminación en el taller eléctrico sea solventada por completo por el sistema fotovoltaico. Para ello se debe saber que el controlador del inversor UNO no posee un control de carga, ni menos la monitorización de ello, por lo que se deberá añadir otro controlador o un método que sea capaz de lograrlo.

18.Funcionamiento esquemático del inversor UNO 2.0

Si se hace un análisis del funcionamiento esquemático del sistema implementado, en simples cuadros demostrativos, nos daría como resultado el siguiente esquema:

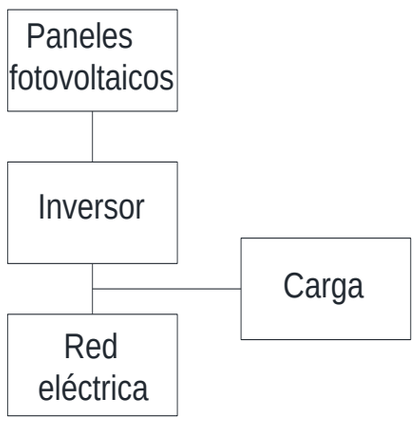


Figura 11.1: Esquema de funcionamiento del inversor UNO 2.0

Cómo se ve en el esquema, el sistema que tiene diseñado para trabajar el inversor tiene como objetivo la inyección de energía a la red eléctrica y con ella alimentar de la misma forma la carga.

Esta configuración es funcional sólo si es que existe un medidor bidireccional, el cual es capaz de medir la cantidad de potencia consumida por la carga y además de medir la entregada hacia la red.

19.Esquema de funcionamiento del diseño

Con la visión clara de los puntos a considerar y considerando el funcionamiento del sistema con el inversor presentamos el esquema teórico del funcionamiento al aplicar los elementos adicionales.

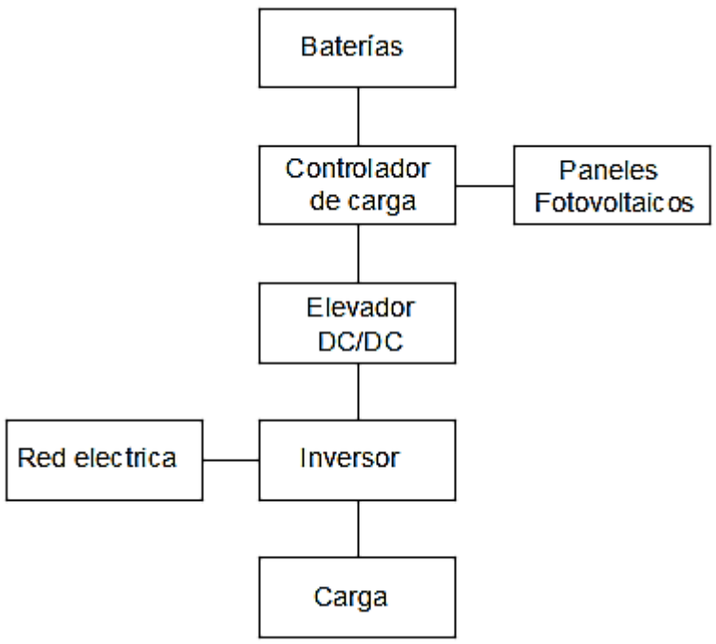


Figura 11.2: Esquema de funcionamiento final del nuevo sistema fotovoltaico

20.Criterios de elección de equipamiento

Antes de dar un diseño, se deben tener en consideración los controladores y equipos que se van a utilizar y los criterios para ser elegidos, además de entregar los rangos de trabajo de cada uno de ellos.

- **Controlador de carga:** Debido a que los paneles fotovoltaicos ya están determinados por el proyecto instalado, se debe adaptar la propuesta a lo que ya se tiene. Es por ello, que teniendo en cuenta la cantidad de potencia instalada, se debe buscar un controlador que cumpla con los requerimientos y buscar la forma en que éste sea compatible con la cantidad de potencia instalada.

  Hay dos unidades de medida importantes; tensión y corriente, ambas son generadas en continua. Existen 2 formas de controlar la carga de baterías, una de ellas es PWM, rápidamente descartada por múltiples razones:

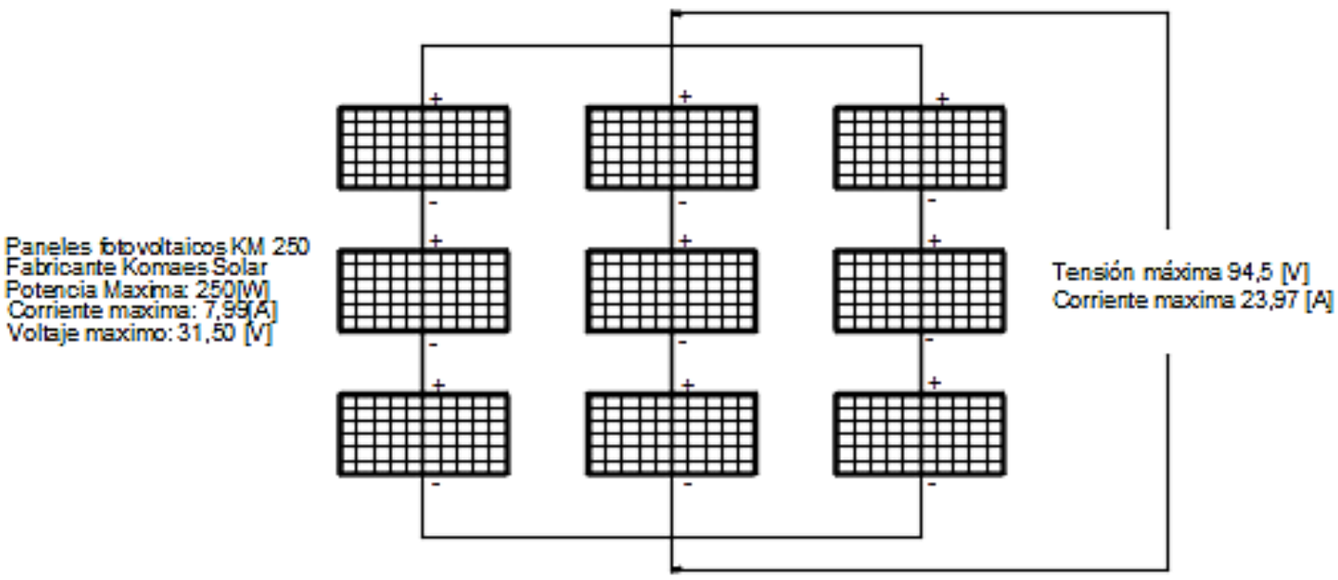
  1. Los controladores de carga PWM, tienen una relación directa entre la tensión de entrada y la tensión de salida, es decir, deben obtener la misma tensión de entrada y la de salida, es por ello que con los paneles fotovoltaicos instalados y la capacidad instalada, este tipo de controladores nos obligaría a realizar una configuración en paralelo entre todos los paneles, dándonos una tensión máxima de 31[v] y una corriente máxima por panel de 8[A], multiplicado por la cantidad de paneles(9), nos da una cantidad de 72[A], muy alto para los valores comerciales tradicionales de 60[A], además de necesitar conductores de mayor calibre para la transmisión de corriente entre los paneles hacia el controlador.

  2. El método de carga PWM si bien es un avance tecnológico para las baterías de gel, litio, plomo ácido y otras variedades de ciclos profundos, no es la forma más eficiente de carga, ya que un controlador PWM puede variar su rendimiento dependiendo del modelo, tensión de carga, corriente y antigüedad; entre valores de 60% hasta 95% en eficiencia.

  3. Costo, si bien es cierto que el control de carga por anchura de pulsos (PWM), es un método relativamente económico, debido a

la corriente resultante de la cantidad de paneles fotovoltaicos instalados, el método MPPT es una alternativa más económica, ya que puede trabajar con tensiones elevadas y en muchos casos, detectar las baterías que se le conectan a la salida.

El controlador de carga elegido, tiene una entrada de tensión máxima de 100[v] además de una corriente máxima de 30[A], para conseguir esos valores o acercarnos a los valores de tensión y corriente óptimos de trabajo, se deben conectar los paneles fotovoltaicos de tal manera, que la tensión será inferior a 100[V] y la corriente no supere los 30[A] , es por ello que se realiza una conexión mixta (series y paralelo) como se



muestra en este esquema:

Figura 12.1: Esquema de conexionado de paneles fotovoltaicos 1

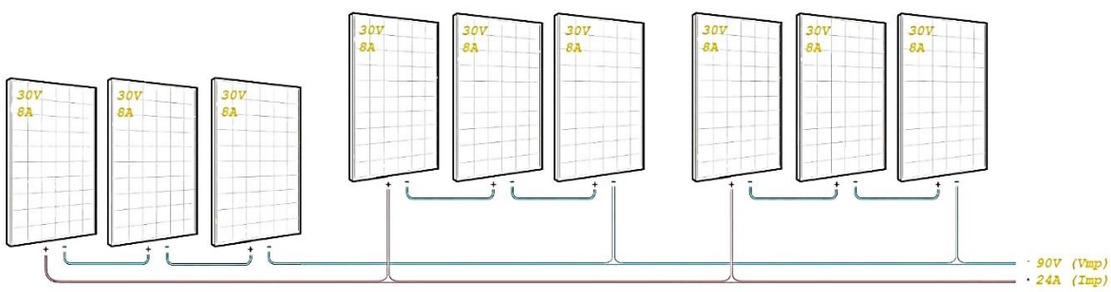


Figura 12.2: Esquema de conexionado de paneles fotovoltaicos 2

21.Consideraciones previas

21.1. Capacidad de consumo

Debido a que la capacidad de instalada es limitada a 2[KW], esto dado por la capacidad máxima sumada de los paneles fotovoltaicos (2.250 [W]) y que el inversor principal (ABB UNO 2.0) posee una potencia máxima de 2 [KW] como plena carga, se debe limitar el área de uso del sistema, es decir, dar una selección de lo que se puede y no alimentar.

Normalmente los sistemas fotovoltaicos se utilizan en alumbrado, ya que a tecnología actual apunta al uso de tecnología LED, en donde no se utilizan bobinas y/o condensadores, que afectan de forma negativa en la potencia aparente del sistema. Por otro lado, en la mayoría de los casos, se utiliza directamente la energía en corriente continua para la alimentación de focos LED (uso tradicional en iluminación de exterior).

Nuestra propuesta no queda ajena a los puntos mencionados, en la *tabla 3.1* se menciona y se cuantifica el consumo eléctrico de cada sala en el taller, en donde existen equipos fluorescentes, LED y/u otro tipo de tecnología (esto sin contar los focos principales de haluro de metal presentes que representan una potencia muy alta para considerarlos siquiera en el conteo de potencias presentes).

Tipo/Lugar	Cantidad	Estación	Total [W]
-	9	2x36[W]	648 [W]
Sala Instrumentación	12	1x20[W]	240 [W]
Laboratorio de Máquinas	18	1x32[W]	576 [W]
Taller Mediciones Eléctricas	10	2x36[W]	720 [W]
Oficinas	5	2x36[W]	360 [W]
Sala multiuso 2do piso	8	3x36[W]	864 [W]
Pañol	2	2x36[W]	144 [W]
Laboratorio de procesos	6	1x20[W]	120 [W]
PLC	8	1x36[W]	280 [W]
Pasillo	4	2x-36[W]	280[W]
Total			**4232 [W]**

Tabla 3.1: Detalle de consumo en iluminación en taller eléctrico

Presentados los datos y realizando un análisis rápido de los equipos disponibles a alimentar, se considerará que las siguientes salas, cuentan con equipos LED:

- Sala de instrumentación
- Laboratorio de maquinas
- Laboratorio de procesos

Todas ellas suman un total de 936[W] y añadiendo la sala multiusos del segundo piso que consta de equipos fluorescentes con una suma de 864 [W], nos acercamos a la potencia del inversor con unos 1800[W] de consumo. Esto relativo al uso y disponibilidad de salas, pero siempre pensando en una plena carga.

22. Elevador de tensión

Debido a que el sistema está pensando para adquirir una tensión elevada (mayor a 200 VDC) en la entrada del inversor, y que nuestro sistema será utilizado a partir de un banco de baterías de 12 VDC, se debe adaptar este valor para poder ingresar con un valor válido para el inversor. Existen variadas formas de conseguirlo, mencionados en el marco teórico y a partir de ello se elige el método de utilizar un inversor de bajo costo para luego rectificar la señal de salida a 220 VDC.

Para la rectificación de la señal se utilizará un puente rectificador de onda completa con un condensador para la filtración de los peaks bajos de tensión, debido a que la entrada del inversor sólo tiene como tensión mínima 90 VDC

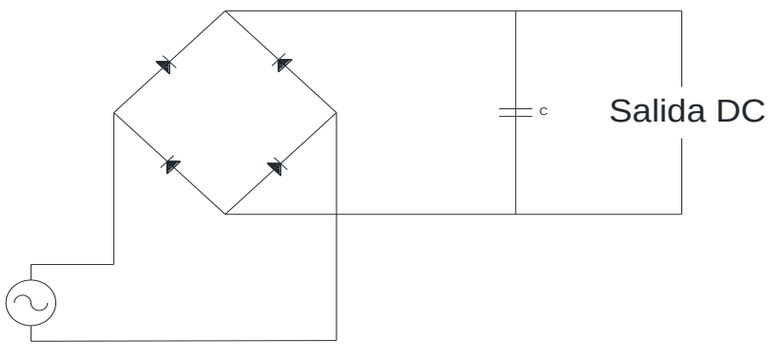


Figura 13.1: Puente rectificador de onda completa

Teóricamente se debe obtener una señal donde el mínimo de tensión debe ser 90 V y su máximo 520 V según lo que se registra en la hoja de datos del inversor UNO 2.0.

Para limitar estos parámetros se debe calcular la capacidad del condensador a conectar, pero primero se muestra en la siguiente figura cómo influirá el condensador en la salida del rectificador de onda completa:

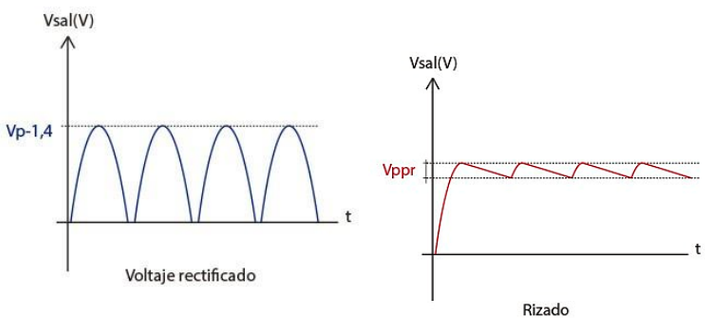


Figura 13.2: Comparación de rectificación con condensador

Fuente: sc.hue.es

22.1. Calculo de condensador:

Para el cálculo del condensador se deben tomar en consideración las condiciones en que se instala el equipo, valores que debe tomar la señal y corriente del circuito, es por ello que hay una fórmula que enlaza todos estos datos y nos entregará un valor mínimo de capacidad.

$$C = I/(2 * F * VR)$$

Donde:

C = capacidad del condensador.

I = corriente del circuito

F = Frecuencia de la red

VR = valor peak to peak del rizado deseado

Sabiendo esto, se podrá calcular el valor mínimo del condensador necesario para la tarea.

$$\begin{aligned} C &= 12,5/2 * 50 * 430 \\ &= 2,90e^{-4} \end{aligned}$$

23. Conmutación a red eléctrica

Debido a que el sistema está sujeto a fallas, ya sea por una desconexión forzada del almacenamiento de energía y/o de los paneles fotovoltaicos, como también está la posibilidad de que por condiciones anormales los paneles no sean capaces de generar la capacidad calculada ya sea por suciedad, sombras, periodos muy cortos de radiación, etc. Puede ocasionar que se suspenda la alimentación desde el inversor a la carga, es por ello que se hace necesario una conmutación entre la red eléctrica hacia la carga, en casos de falla o sólo como método de prueba.

Para ello se puede utilizar un método manual por contactores o relés a partir de botoneras, o se puede realizar un control automático que permita la conexión o desconexión inteligente de la red eléctrica.

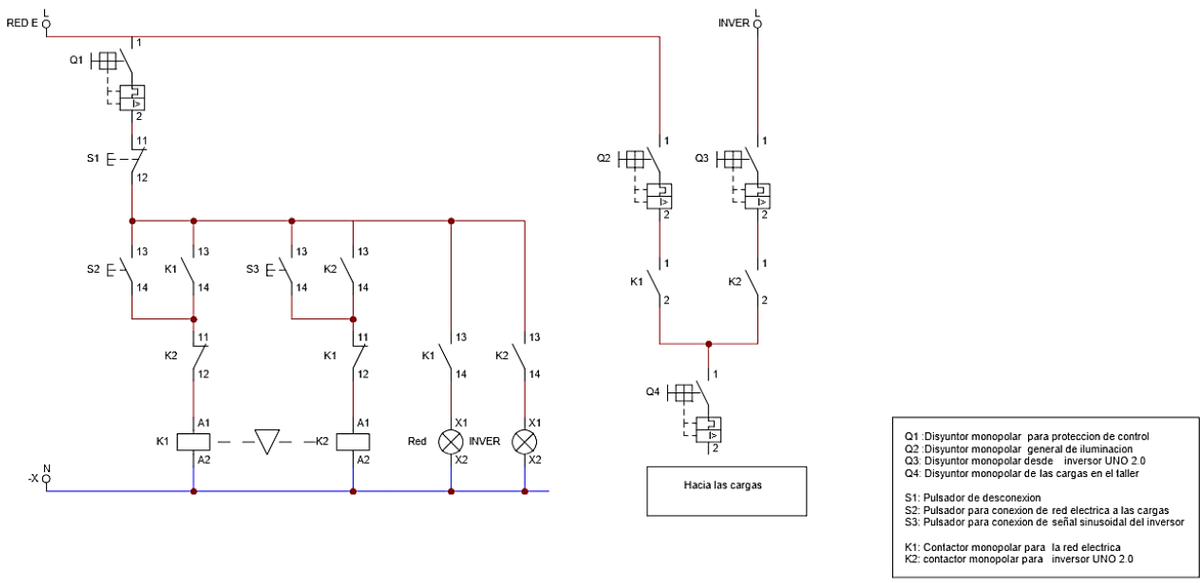


Figura 14.1: Diagrama de conmutación entre red eléctrica e inversor

El diagrama propuesto, es una forma simple de realizar la tarea de conmutación entre la red eléctrica y la salida del inversor, no es la solución más precisa, pero obedece a los requerimientos. La propuesta puede mejorar si se le añade un controlador que se dedique a la tarea de monitorización y desconexión inteligente del sistema.

Conclusiones

Con la ambición de otorgar una posibilidad de robustez a un sistema que ahora no puede ser un aporte real para la universidad ni el taller eléctrico, cómo también una entrega de conocimientos de los equipos que se encuentran accesibles y que pueden ser una base para conocimientos de emprendimiento y/o de proyectos que se basen en energías renovables no convencionales (ERNC), en específico a generación fotovoltaica y con ello lleven la problemática en donde se plantee una forma más eficiente de llevar a cabo la tarea, como también se busque por medio de un control la manipulación de algún sistema ya instalado. Se realizó éste estudio que se focalizo en objetivos específicos claros que fueron cumplidos según lo planificado y con una propuesta de mejora que puede ser una referencia para las futuras generaciones, cómo también material de estudio y/o consulta.

Para el caso del primer objetivo específico, en donde se menciona realizar una clasificación e identificación del inversor UNO 2.0, fue realizada bajo aspectos de relevancia técnica relacionada netamente a su funcionabilidad más que como un producto de mercado, es decir, evaluando su efectividad, desempeño y cumplimiento de objetivos según el fabricante. Dándonos como resultado una clasificación dentro de la alta gama de inversores presentes en el mercado, referenciándonos principalmente en el fabricante del modelo que posee entre sus equipos un abanico amplio de productos que se pueden jerarquizar con respecto al interés de nuestro estudio.

Paralelamente, nuestro segundo objetivo hace referencia a un estudio del amplio campo de baterías que existen en el mercado, en donde cada una menciona una característica particular que puede ser un punto a favor o en contra de lo que se busca, es por ello que se mencionan los tipos, sus principales características y entregando alternativas para el cumplimiento final de la propuesta.

Nuestro último objetivo específico menciona la cuantificación de los paneles fotovoltaicos existentes en la universidad, en donde se cuantifica la cantidad como también la capacidad de éstos, además de entregar métodos de conexionado para la función adecuada que requiere la propuesta.

Se debe tener en cuenta que nuestra propuesta sólo refleja una forma de aplicar una mejora, si bien es cierto que es una forma básica de resolver una problemática que está presente en muchos sistemas similares, existen múltiples formas de solución, recomendándose en este caso para beneficio de la Universidad, el cambio del sistema

fotovoltaico actual prefiriendo un modelo más vanguardista, optimo y acorde a las competencias que existen hoy en día, representado un cambio significativo en lo que respecta a generación con ERNC. Debiéndose cambiar el inversor, aumentar la capacidad de generación de los paneles e incluir un inversor que sea capaz de trabajar en la configuración hibrida dando la posibilidad de reducir enormemente la facturación eléctrica aplicándose éste sistema igual a cómo lo hacen países de primer nivel mundial y que ya cuentan con sistemas similares o iguales al propuesto por nosotros.

Bibliografía en línea:

- Tipos paneles solares

http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares

- Panel Komaes KM250

https://www.heliplast.cl/producto/modulo-komaes-solar-km225230235240245250-mono/

- STC Masa de Aire

https://www.youtube.com/watch?v=JoWIvVJrsxM

- Irradiancia

https://www.youtube.com/watch?v=tpvyVLHNKBY&

- Paneles solares y Temperatura

https://www.monsolar.com/blog/como-afecta-la-temperatura-a-una-placa-solar-2/

- Diferencia Potencia y Energía

http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2013/03/15/cual-es-la-diferencia-entre-energia-y-potencia/?preview=true

- Cálculo de baterías

https://www.youtube.com/watch?v=4il0GBOUHqk
http://www.energiasinteligentes.com/noticias/8/como-calcular-el-banco-de-baterias-de-un-sistema-solar

- Controlador MPPT

http://www.tritec-intervento.cl/productos/diferencia-entre-controlador-de-carga-pwm-y-mppt/

- Manual de inversores ABB UNO

https://library.e.abb.com/public/ee1ed4ebc8c6454dbf91ab19b12fbb9a/UNO-2.0_3.0_3.6_4.2-Product%20manual%20EN-RevA(M0000027AG).pdf

- Manual de inversor ABB UNO 2.0 y 2.5 S

https://library.e.abb.com/public/7a8367ab70cae55e85257e1f006f4118/UNO-2.0_2..5-I-OUTD-Product%20manual%20EN.pdf

- Pliego técnico SEC de autogeneración

http://www.sec.cl/pls/portal/docs/PAGE/SECNORMATIVA/ELECTRICIDAD_NORMA4/RTICN09SISTEMAS_AUTOGENERACION_Y_EQUIPOS_PARA_INSTALACIONESERNC.PDF

ANEXOS

Diagrama de bloques
Sistema fotovoltaico con inversor
UNO 2.0

Rev.	Fecha	Descripcion	DIB	REV.	APR.				
	11/04/2018	Emitido				USM Sede concepción	Diseño de sistema fotovoltaico con inversor UNO 2.0	Hoja 1 de 4	REV.
							Diagrama de bloques	N° PLANO 2018-TUAC-P1	
			Responsables				Portada		

INDICE		
1	DESCRIPCION	LAMINA
2	PORTADA	1
3	INDICE	2
4	DIAGRAMA DE BLOQUES	3
5	DIAGRAMA DE CONTROL	4

Rev.	Fecha	Descripcion	DIB	REV.	APR.
	11/04/2018	Emitido			
			Responsables		

USM
Sede concepción

Diseño de sistema fotovoltaico con inversor UNO 2.0

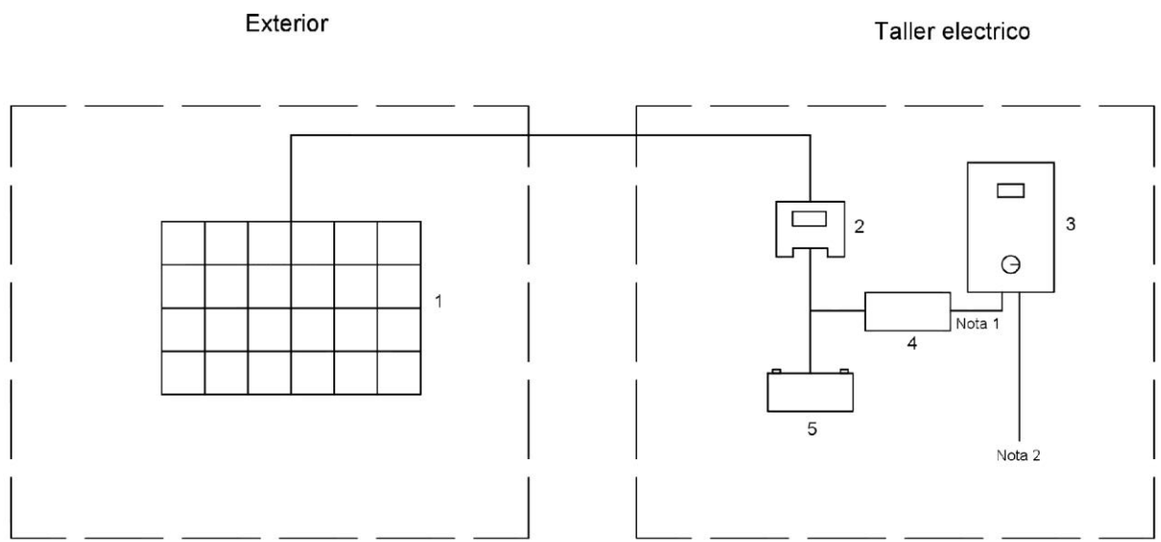
Diagrama de bloques

Indice

Hoja 2 de 4

N° PLANO 2018-TUAC-P2

REV.



1 : Panel solar fotovoltaico KM 250
2: Controlador MPPT 100v/30A
3: Inversor solar ABB UNO 2.0
4: Inversor 12VDC a 220VAC
5: Banco de baterías

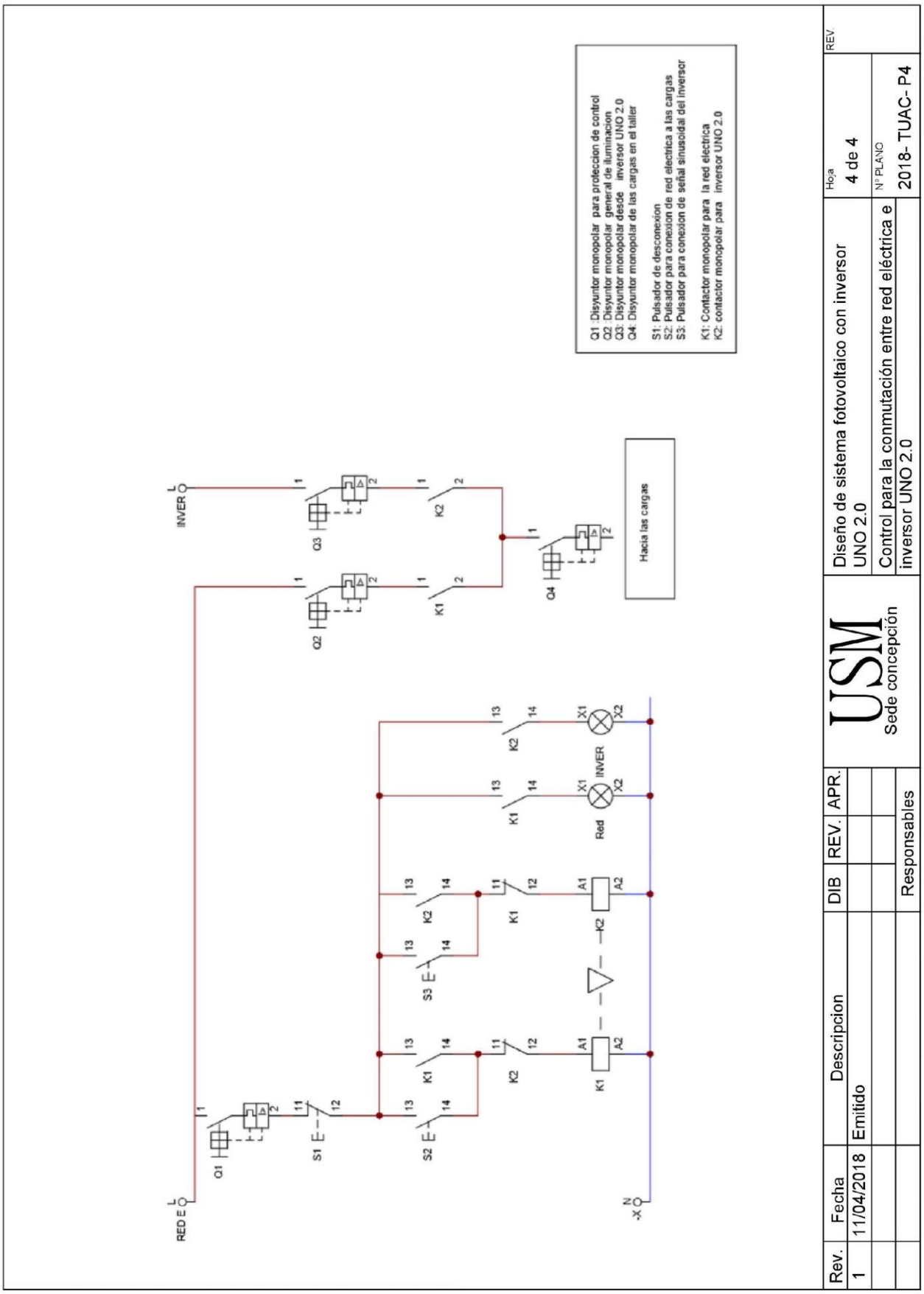
Nota 1 : Etapa de rectificación adicional al inversor.
Nota 2 : Hacía el control de conmutación con la red eléctrica al plano 2018-TUAC-P4

Rev.	Fecha	Descripcion	DIB	REV.	APR.
1	11/04/2018	Emitido			
			Responsables		

USM
Sede concepción

Diseño de sistema fotovoltaico con inversor UNO 2.0
Diagrama de bloques
Diagrama de bloques

Hoja 3 de 4
N° PLANO 2018-TUAC-P3
REV.


Q1: Disyuntor monopolar para proteccion de control
Q2: Disyuntor monopolar general de iluminacion
Q3: Disyuntor monopolar desde inversor UNO 2.0
Q4: Disyuntor monopolar de las cargas en el taller
S1: Pulsador de desconexion
S2: Pulsador para conexion de red electrica a las cargas
S3: Pulsador para conexion de señal sinusoidal del inversor
K1: Contactor monopolar para la red electrica
K2: contactor monopolar para inversor UNO 2.0
INVER
RED E
Hacia las cargas
Red
INVER
USM
Sede concepción
Diseño de sistema fotovoltaico con inversor UNO 2.0
Control para la conmutación entre red eléctrica e inversor UNO 2.0
Hoja
4 de 4
REV.
Nº PLANO
2018- TUAC- P4
Rev.
Fecha
Descripcion
DIB
REV.
APR.
1
11/04/2018
Emitido
Responsables