

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL
SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LAS
LOCALIDADES DEL VALLE CHUMBAO, DISTRITO DE SAN JERÓNIMO,
ANDAHUAYLAS Y TALAVERA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

JULIAN RUMICHE, JULIO LEONARDO

Villa El Salvador

2015

AGRADECIMIENTO

Agradecer a mis padres María y Rogelio, por haber cuidado de mí; también a mi hermano Rogelio Martin y mi hermosa sobrina ahijada Margaret Julian. Y a la familia Rumiche por creer en mí.

A mi asesor el Dr. Luis Velásquez Machuca, por su tiempo y dedicación al presente trabajo. Que Dios los tenga en su gloria.

INDICE

INTRODUCCIÓN	8
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	9
1.2 Justificación de la investigación	10
1.3 Delimitación de la investigación	11
1.3.1 Espacial.....	11
1.3.2 Temporal	11
1.4 Formulación del Problema	11
1.5 Objetivos.....	12
1.5.1 Objetivo General	12
1.5.2 Objetivos Específicos	12
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	14
2.1. Antecedentes de la investigación	14
2.2. Bases Teóricas	15
2.3. Marco Conceptual.....	16
2.3.1. Energía Solar	16
2.3.1.1. Radiación	17
2.3.1.2. Tipos de Tecnología.....	19
2.3.1.3. Irradiación	21
2.3.1.4. Insolación.....	21

2.3.1.5.	Geometría Solar	23
2.3.1.6.	Coordenadas celestes horarias	24
2.3.1.7.	Recorrido de la radiación solar	26
2.3.2.	Paneles Fotovoltaicos	27
2.3.2.1.	Celda Fotovoltaica	28
2.3.2.2.	Dopado del Silicio y la Unión P-N.....	29
2.3.3.	Baterías.....	32
2.3.3.1.	Baterías de Gel:	32
2.3.4.	Inversor	33
CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA.....		36
3.1	Análisis del Sistema.....	36
3.1.1	Calificación Eléctrica	36
3.1.2	Demanda Máxima De Potencia	37
3.1.3	Alcances del proyecto	37
3.1.4	Impacto Ambiental.....	38
3.1.4.1	Marco Político Legal	38
3.1.4.2	Medidas de mitigación.....	38
3.1.4.2.1	Ambiente social.....	38
3.1.4.2.2	Tendido de conductores	39
3.1.4.2.3	Desechos	39
3.1.5	Criterios eléctricos	40

3.1.5.1	Sistemas de puesta a tierra	40
3.1.5.2	Pérdidas de energía y potencia.	41
3.2	Metodología	41
3.3	Diseño del Sistema	46
3.3.1	Cálculos eléctricos:.....	46
3.3.2	Características de la RED	46
3.3.3	Dimensionamiento de la Mini Central:	46
3.3.3.1	Análisis de volumen de los reservorios y tiempo empleado por las electrobombas para llenarlos.....	46
3.3.3.2	Análisis de cargas	48
3.3.3.3	Calculo del número de unidades de equipos que conforman la mini central fotovoltaica.	48
3.3.3.3.1	Calculo del número de paneles fotovoltaicos	48
3.3.3.3.2	Calculo del número de controlador / regulador / cargador	50
3.3.3.3.3	Calculo del número de acumuladores / baterías.....	53
3.3.3.3.4	Cálculo Del Número De Inversores:	54
3.3.3.3.5	Determinación del conductor de cobre:	56
3.3.3.3.6	Área del proyecto	59
3.3.3.3.7	Mapa de energía solar incidente en territorio peruano:.....	61
3.4	Previsión y consolidación de resultados.....	63
CONCLUSIONES		65

RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFIA	67
Referencias de Figuras	67
ANEXOS.....	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa irradiación horizontal de Latinoamérica y El Caribe.....	20
Figura 2 Espectro de Radiación Solar.....	21
Figura 3 Curva de Irradiación Solar Diaria y horas solares pico.....	22
Figura 4 Movimiento aparente del sol en función de la hora del día.....	23
Figura 5 Geometría Solar.....	24
Figura 6 Coordenadas celestes horarias.....	25
Figura 7 Valores referenciales de Aire-Masa en función de la altura solar.....	27
Figura 8 Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar	28
Figura 9 Celda Fotovoltaica de Cilicio Policristalínico.	29
Figura 10 Dopado de Silicio.	31
Figura 11. Diagrama de flujo de un sistema fotovoltaico.	43
Figura 12. Diseño del panel solar fotovoltaico.....	60
Figura 13 Mapa de energía solar en Perú.....	61
Figura 14 Mapa de energía solar en Apurímac.	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Declinaciones características mensuales	26
Tabla 2 Punto de vista europeo	36
Tabla 3 Punto de vista Centro América.....	37
Tabla 4 Donde el consumo por día, representa la demanda máxima de energía.	37

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo principal diseñar una central fotovoltaica eficiente, para obtener un máximo aprovechamiento de la energía solar.

Para llevar a cabo este proyecto, primero se dan los conceptos básicos de energía solar fotovoltaica, abarcando sus generalidades, características, consideraciones, las centrales que utilizan estas energías y sus aplicaciones actuales.

La necesidad de diversificar la matriz energética del país es un tema cada vez más importante e incluso desde el gobierno se dan algunas señales que apuntan a ello. Por otra parte, todo desarrollo en energía renovable no convencional (ERNC), contribuye a la reducción gases de efecto invernadero, característica que permite aprovechar estas reducciones a través de la venta de bonos de carbono en el mercado internacional. En este contexto es importante evaluar la incorporación de nuevas tecnologías que aprovechen los recursos que posee el país en toda su extensión. Este trabajo considera específicamente el diseño de una central eléctrica alimentada con tecnología fotovoltaica, para aprovechar el gran potencial energético solar presente en el centro del país, lugar donde se presenta uno de los niveles de radiación solar más altos del mundo y excelentes condiciones climáticas.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

La región de Apurímac y gran parte de los departamentos del país poseen hidroeléctricas de diversas capacidades que forman parte del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES SINAC), pero dichos sistemas aun no llegan a cubrir del servicio eléctrico a toda la población del Perú, algunos por estar en lugares de difícil acceso a la red eléctrica no cuentan con dicho servicio.

Actualmente la comunidad de Sucaraylla, ubicada en el Valle del Chumbao de la provincia de Andahuaylas es alimentada por la red monofásica con retorno por tierra y en la actualidad carece del servicio de electrificación de red trifásica.

1.2 Justificación de la investigación

Cada día se registran niveles más alarmantes de contaminación en el medio ambiente, esto se debe principalmente a la generación de energía mediante métodos convencionales, los cuales generan altas cantidades de CO₂, y así disminuyen la calidad del aire que consumimos y dañan irremediablemente la capa de ozono. El Perú, por firmar el protocolo de Kioto, incentiva activamente la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mediante una bonificación por tonelada de CO₂ no emitida. Asimismo, el Decreto Legislativo N°1002 declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de nueva generación eléctrica mediante el uso de Recursos Energéticos Renovables (RER), dentro de las cuales, destaca la energía fotovoltaica.

En el 2013, se abrieron 2 nuevas centrales fotovoltaicas en el Perú como parte de la política de equilibrio de la matriz energética en el Perú; la Central Fotovoltaica de Tacna, en la zona de Alto de la Alianza, tuvo una inversión de 250 millones de soles (US\$95,7 millones), cuenta con 121 hectáreas de superficie y su producción anual de energía se estima en 47,196 megavatios. La planta de Moquegua, en la provincia de Mariscal Nieto, requirió la misma inversión que la otra, tiene 123 hectáreas y se calcula en 50.676 megavatios su producción anual.

Además de buscar lograr la sostenibilidad en el abastecimiento de la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de las plantas de tratamiento de agua en la región Apurímac.

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Espacial

El pueblo de Sucaraylla se localiza en el distrito de Andahuaylas, perteneciente a la provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac, Perú.

1.3.2 Temporal

La investigación se realizará en los 3 primeros meses del año 2015.

1.4 Formulación del Problema

El sistema actual de abastecimiento eléctrico de la comunidad de Sucaraylla es de tipo de red monofásica con retorno por tierra, el cual hace deficiente el abastecimiento eléctrico de la planta de tratamiento de agua, y es por ello que resulta necesaria la implementación de una red trifásica, para el funcionamiento de equipos con los que cuenta la planta. Los costos de instalación de este tipo de red conllevan una inversión elevada, así como la instalación es difícil por el tipo de geografía de la zona.

La investigación es de carácter rural y está ubicada principalmente en zonas de extrema pobreza, fuera del área de responsabilidad (llamada área de concesión eléctrica) de las Empresas Concesionarias de Distribución.

Estas empresas sólo se hacen cargo de su área de responsabilidad de acuerdo a la Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento. Las diferentes áreas de responsabilidad para distribución eléctrica constituyen sólo una pequeña parte del territorio nacional.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar una central solar fotovoltaica que garantice el abastecimiento de agua potable en las localidades del Valle Chumbao.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Garantizar suministro energético continuo a todas las cargas mencionadas principalmente a las electrobombas del proyecto.

- Integrar las tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica y de seguridad eléctrica para un correcto funcionamiento del proyecto.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Collado, 2009. “Energía Solar Fotovoltaica competitividad y evaluación económica comparativa y modelos” demuestra como la energía fotovoltaica puede ser competitiva a medio y largo plazo, devolviendo a la sociedad las aportaciones económicas, que esta energía necesita para realizar su desarrollo, y como debe evolucionar para conseguir llegar a ser competitiva con el resto de las energías tradicionales, y otras emergentes en crecimiento estudiando el nivel de evolución que tiene que tener esta forma de producción de energía, hasta conseguir llegar a ser competitiva con el resto de las energías tradicionales, y otras emergentes en crecimiento.

Perpiñán, 2008. “Grandes Centrales Fotovoltaicas: Producción, Seguimiento y Ciclo de Vida” propone un método de cálculo útil para la estimación de la energía producida por una central de energía fotovoltaica este método hace uso de las integrales en el dominio de la

irradiancia y de la definición del momento estadístico. Con este método es posible estimar la energía producida mediante operaciones simples, empleando los momentos de orden 1 a 4 y algunos parámetros básicos del sistema.

Aravena, 2012. Introduce los aspectos técnicos relevantes en cuanto a la generación fotovoltaica: características de la radiación solar, principios de funcionamiento y características de las celdas solares. Por otro lado, se caracterizan los componentes de una central fotovoltaica conectada a la red, tales como: paneles fotovoltaicos, sistemas de seguimiento, inversores y centros de transformación.

2.2. Bases Teóricas

Green, 2002. "Energía Fotovoltaica: de la luz solar a electricidad usando celdas solares", indica el fundamento teórico de cómo se convierte la luz solar a energía eléctrica mediante las celdas solares y brinda una aproximación a la instalación de equipos.

Jutglar, 2004. "Energía Solar" señala las bases para un correcto cálculo del posicionamiento de las celdas solares y el correcto almacenamiento para su posterior uso.

Martínez, 2012. Señala que es necesario controlar la calidad de las centrales fotovoltaicas para asegurar que producen la energía que se espera de manera segura y fiable enfatizando los controles actuales que

se encargan de la parte fotovoltaica sea diseñada y certificada según las normas IEC 61215 e IEC 61646.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. Energía Solar

El sol es una estrella que está compuesta con un significativo porcentaje de hidrógeno el cual por reacciones naturales a su entorno reacciona y produce Helio, y este proceso genera una gran cantidad de energía el cual viaja hasta llegar a la Tierra y ahí es cuando la Capa de Ozono filtra las diferentes formas de energía y solo dejan pasar las longitudes de ondas que son la luz visible y el infrarrojo. La energía es transmitida por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio, esta energía la podemos percibir en forma de luz y calor. Cerca del 70% de la energía solar recibida por la tierra es absorbida por la atmósfera, la tierra y por los océanos, mientras que el 30% restante es reflejado por la atmósfera de regreso al espacio. La energía solar cumple un rol fundamental en nuestras vidas, esto porque sin ella sería imposible. La energía absorbida por la atmósfera, la tierra y los océanos permite una serie de procesos naturales, como por ejemplo mantener una temperatura promedio, la evaporación, que permite la generación de precipitaciones, movimiento de masas de aire, fotosíntesis, generación de biomasa, etc.

Por otro lado, la energía solar es una fuente de energía renovable, inagotable, limpia y sustentable en el tiempo. Producto de la sobreexplotación de recursos no renovables y los efectos generados por su consumo, se puede percibir una creciente conciencia social y de los gobiernos, de sacar provecho de este tipo de energías. Esto es posible de ver por la mayor cantidad de sistemas de generación en base a energías renovables instalados y en proceso de instalación en nuestro, los cuales son utilizados como sistema auxiliar o principal, dependiendo de la ubicación y recursos de quien los utilice.

2.3.1.1. Radiación

Es la transferencia de energía. La potencia de la radiación va a depender del momento del día, las condiciones atmosféricas y la ubicación. Bajo condiciones óptimas se puede asumir un valor aproximado de irradiación de 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. Esta radiación puede llegar a la tierra en forma directa o difusa.

- Radiación Directa: es aquella que llega directamente del Sol hasta algún objeto o superficie terrestre, sin reflexiones o refracciones en su recorrido. Este tipo de radiación puede reflejarse y concentrarse para su utilización. Además, se caracteriza por producir sombras bien definidas de los objetos que se interponen en su trayecto.

- Radiación Difusa: corresponde a la radiación emitida por el sol y que sufre alteraciones en su recorrido desde que ingresa a la atmosfera, siendo reflejada por partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, etc., o absorbida por las nubes. Producto de las constantes reflexiones va perdiendo energía. No proyecta sombra de los objetos que se interponen en su recorrido. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven pueden ver el cielo en todas las direcciones, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. En un día despejado, la radiación directa es mucho mayor que la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación incidente corresponde a radiación difusa.

La irradiancia directa normal fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor promedio de 1354 W/m^2 , el valor máximo se encuentra en el perihelio (lugar donde un planeta se encuentra más cercano al sol) y corresponde a 1395 W/m^2 , mientras que el valor mínimo se encuentra en el afelio (lugar donde un planeta se encuentra más lejano al sol) y es de 1308 W/m^2 .

2.3.1.2. Tipos de Tecnología

Existen distintos tipos de tecnologías que permiten utilizar la energía proveniente del sol, los cuales se nombran a continuación:

- Energía solar pasiva: Aprovecha el calor del sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.
- Energía solar térmica: Aprovecha la energía calórica del sol para calentar algún tipo de fluido a baja temperatura, normalmente agua, para uso sanitario y calefacción, los sistemas utilizados para esto se denominan colectores solares.
- Energía solar fotovoltaica: Aprovecha la energía lumínica del sol para producir electricidad mediante placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar, estos sistemas se llaman Paneles Solares Fotovoltaicos (PFV).
- Energía solar termoeléctrica: Aprovecha la energía calórica para producir electricidad, esto se logra a través de un ciclo termodinámico convencional, mediante el cual se calienta algún tipo de fluido a alta temperatura (aceite térmico).
- Energía solar híbrida: consiste en utilizar además de la energía solar, otro tipo de energía. Esto se conoce como hibridación y dependiendo con el tipo de energía que se combine será:
 - Renovable: biomasa, energía eólica.

2.3.1.3. Irradiación

Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es W/m^2 .

En la Figura 2. Se puede apreciar el espectro de radiación solar para niveles sobre la atmósfera terrestre y a nivel del mar.

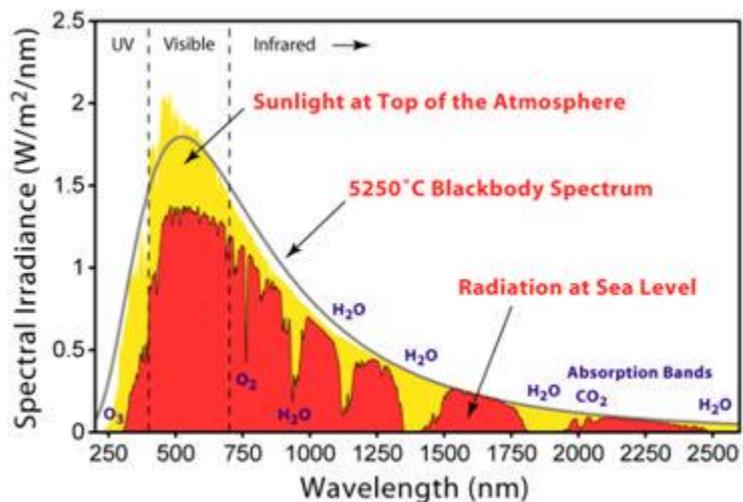


Figura 2 Espectro de Radiación Solar.

2.3.1.4. Insolación

La Insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual). En otras palabras, es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un

intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado (Wh/m^2). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1.000 W/m^2 . La energía útil que entrega el panel(es) fotovoltaico(s) es directamente proporcional a la insolación incidente. Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diurna o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina insolación atenuada siendo más complejo calcularla. En la Figura 3 se muestra la insolación correspondiente a un día, la cual es representada por el área amarilla de la Figura.

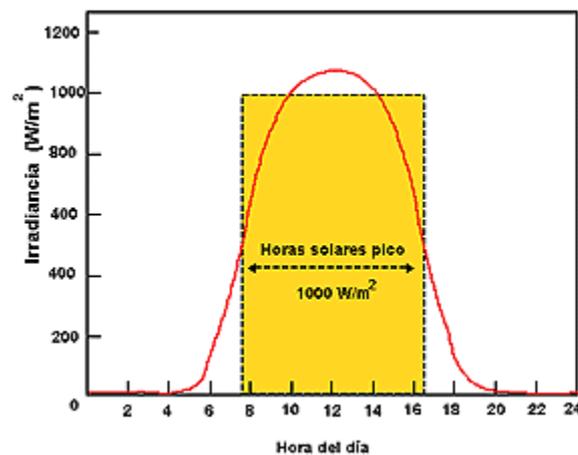


Figura 3 Curva de Irradiación Solar Diaria y horas solares pico.

La insolación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan en demasía la insolación sobre la

superficie de captación. En zonas de poco sol, ya sea por nubes, neblina u otro factor, la insolación promedio en un periodo de tiempo es menor. En días de invierno los niveles de insolación promedio son considerablemente menores en comparación a los días de verano, esto se da para lugares cuya latitud sea mayor a los 15°. Debido a que la insolación depende del ángulo del panel con respecto a la posición del sol, se usa la insolación horizontal para referirse al potencial solar del lugar. A partir de la insolación horizontal se puede estimar la insolación a un azimut y elevación determinado. La insolación será máxima cuando el panel se encuentre en posición horizontal frente al sol. Para conseguir esto sería necesario ajustar el ángulo de azimut para seguir el movimiento diario del sol de este a oeste y el ángulo de elevación para seguir el movimiento anual de la trayectoria solar en la dirección norte-sur (Figura 4).

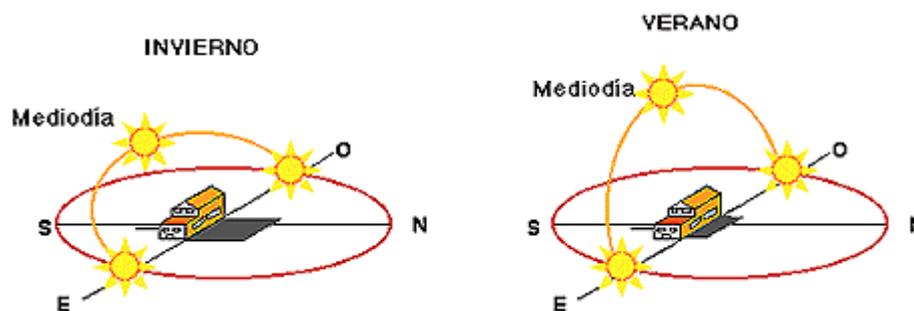


Figura 4 Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año

2.3.1.5. Geometría Solar

Conocer la geometría solar es fundamental para poder estimar la cantidad de energía que se pueda aprovechar por un panel fotovoltaico y

la disposición óptima del mismo. La orientación se define mediante el ángulo Azimut (Ψ), como se observa en la Figura 5, el Azimut se define como el ángulo que forma la dirección sur con el objeto. (Positivo hacia el oeste)

La altura del sol (α) varía de acuerdo a las estaciones, este parámetro es importante, ya que aporta en la creación de sombras y en la irradiación recibida por el módulo. Se mide a partir del horizonte, con un valor de 0° y es positivo en el cenit.

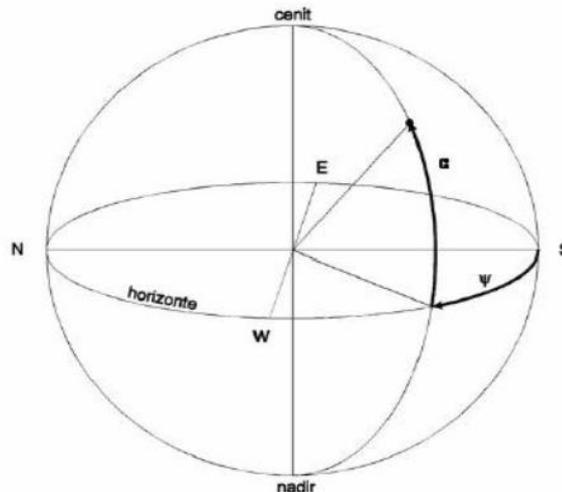


Figura 5 Geometría Solar.

2.3.1.6. Coordenadas celestes horarias

Debido a los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, se debe dar un seguimiento al sol a lo largo de los días, ya que su posición relativa varía.

Se deben definir dos parámetros importantes:

- Ángulo horario, ω , se mide sobre el ecuador a partir del punto de intersección entre el meridiano superior del lugar y aquel, de 0° a $\pm 180^\circ$, positivamente hacia el oeste.
- Declinación, δ , es el arco del círculo horario que pasa por el sol, comprendido entre el ecuador y éste. Se cuenta a partir del ecuador de 0° a $\pm 90^\circ$, positivamente hacia el polo Norte y negativamente hacia el polo Sur.

En la Figura 6 se puede ver gráficamente la coordenada Celestes horarias.

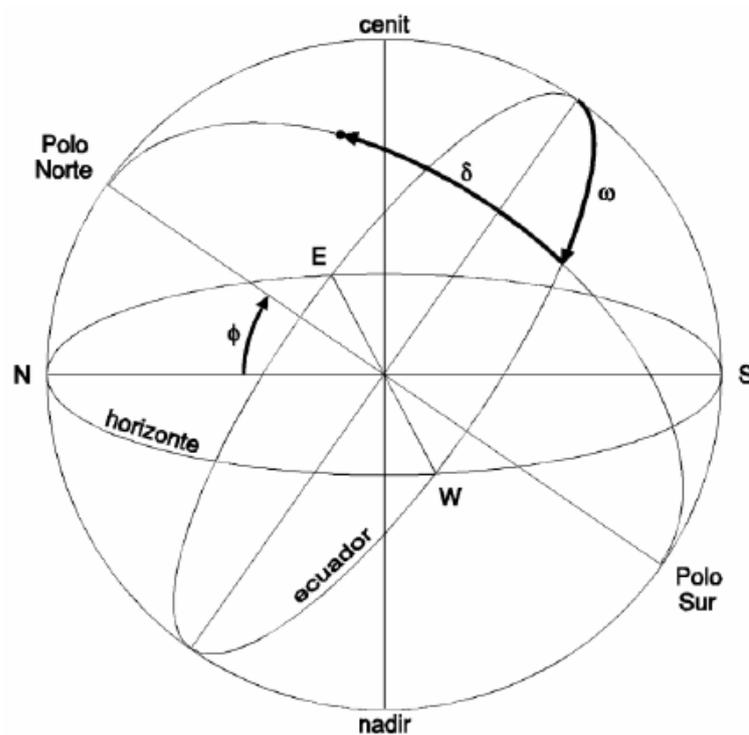


Figura 6 Coordenadas celestes horarias.

En la Tabla 1, se muestra una declinación típica para cada mes. Esta es válida en todo el mundo y se ha tomado basada en un día, el cual se indica en la otra columna.

Tabla 1 Declinaciones características mensuales

Mes	Día del año	Declinación
Enero	17	-20,084
Febrero	45	-13,032
Marzo	74	-2,040
Abril	105	+9,016
Mayo	135	+18,078
Junio	161	+23,004
Julio	199	+21,011
Agosto	230	+13,028
Septiembre	261	+1,097
Octubre	292	-9,084
Noviembre	322	-19,002
Diciembre	347	-23,012

2.3.1.7. Recorrido de la radiación solar

Es evidente que mientras menor sea la distancia del sol, mayor será la radiación solar. Esto ocurre cuando el sol se encuentra más cerca de la Tierra, es decir, $\alpha = 90^\circ$. Es necesario definir el concepto de masa de aire (AM), es una medida de la distancia que recorre la radiación al atravesar la atmósfera (Figura 7).

Se obtiene la masa de aire mediante la siguiente fórmula: $\frac{1}{\cos 90^\circ - \alpha}$

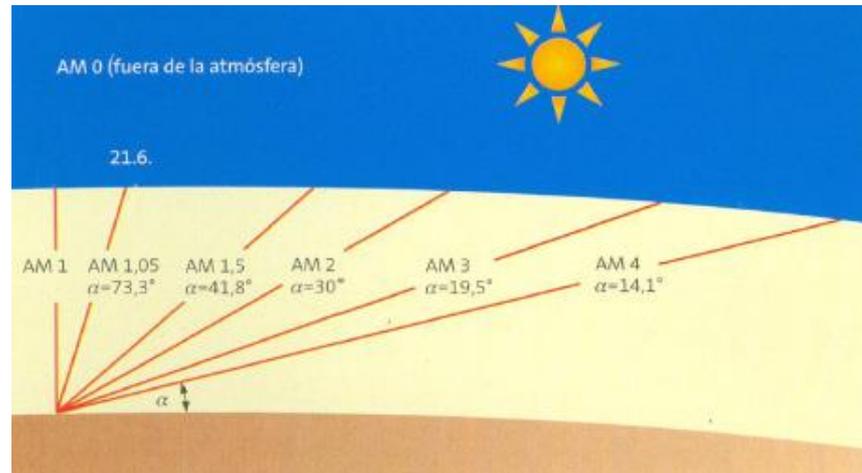


Figura 7 Valores referenciales de Aire-Masa en función de la altura solar.

2.3.2. Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos contribuyen al uso eficiente de energía; es decir al utilizar energía proveniente de la radiación solar contribuimos con el cuidado del planeta, es así que se puede producir electricidad.

El principio de funcionamiento de un Panel Fotovoltaico.

Los fotones provenientes de la radiación solar, atraviesan las capas de la tierra y así impactan la superficie del panel, lo cual al ser penetrado es absorbido por los materiales semiconductores. Las sub-partículas atómicas (electrones) los cuales se encuentran en los orbitales (estos son los orbitales estudiados en la energía cuántica), estos chocan con los fotones liberando los átomos originalmente confinados.

Entonces al ser liberados les permite circular a través del material semiconductor y así producir electricidad.

2.3.2.1. Celda Fotovoltaica

Una celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. A su vez el efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética, estos electrones libres, al ser capturados generan una corriente eléctrica (ver Figura 8). La Figura 9 muestra una celda fotovoltaica policristalina.

La unión de celdas fotovoltaicas da origen a un panel fotovoltaico, el que consiste en una red de celdas solares conectadas en serie para aumentar la tensión de salida continua hasta el valor deseado. También se conectan en paralelo con el propósito de aumentar la corriente de salida del sistema.

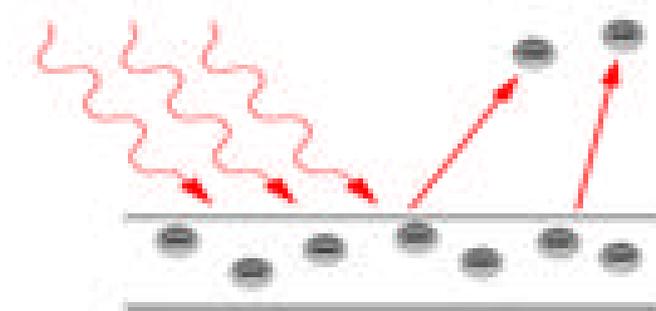


Figura 8 Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar

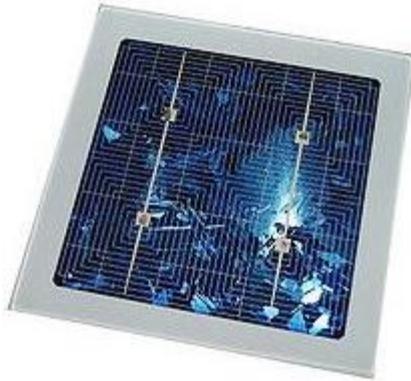


Figura 9 Celda Fotovoltaica de Cilicio Policristalínico.

2.3.2.2. Dopado del Silicio y la Unión P-N

Un átomo del silicio posee cuatro electrones de valencia, estos electrones enlazan a los átomos adyacentes. Si se substituye un átomo de silicio por otro átomo que tenga tres o cinco electrones de valencia, en el primer, la falta de un electrón dejará un hueco disponible, quedando de esta forma con mayor carga positiva (capa P), mientras que en el segundo caso quedará un electrón libre, lo que genera una mayor cantidad de carga negativa (capa N), a este proceso de substitución de átomos se le conoce como dopado. El dopado se puede hacer por difusión a alta temperatura (existen otros métodos para dopar al silicio), donde las láminas se introducen en un horno con el dopante introducido en forma de vapor. Ambas capas se encuentran separadas por un material semiconductor, para formar una unión P-N. Para el dopado tipo P se utilizan generalmente átomos de boro, el cual posee tres electrones de valencia, mientras que para el dopado tipo N, se puede utilizar átomos de fósforo, que poseen cinco electrones de valencia.

El proceso de formación de la unión P-N, provoca una difusión de electrones de las zonas con mayores concentraciones, es decir, desde la capa de tipo N de la unión, hacia la capa P con menores concentraciones de electrones.

Esta difusión de electrones a través de la unión P-N, produce una recombinación con los huecos de la cara de tipo P, generando un campo eléctrico en la juntura hasta que se alcance el equilibrio, luego de esto no existe flujo de cargas a través de la unión, a no ser que sea excitada por una fuente externa.

El campo eléctrico establecido a través de la creación de la unión P-N crea un diodo que permite la circulación de corriente en un solo sentido a través de la juntura. Los electrones pueden pasar del lado N hacia el interior del lado P y los huecos pueden pasar del lado P hacia el lado N. A la zona de difusión de electrones se le llama región de agotamiento o región de espacio de cargas, ya que son escasos los portadores de carga móviles existentes. Finalmente, a la unión P-N se le insertan los contactos eléctricos en ambas capas de la celda, por medio de evaporación o pintando con metal. La parte posterior de la placa se puede cubrir totalmente con metal, pero el frente de la misma tiene que tener solamente un patrón en forma de rejilla o de líneas finas de metal, a fin de evitar el bloqueo de los rayos solares.

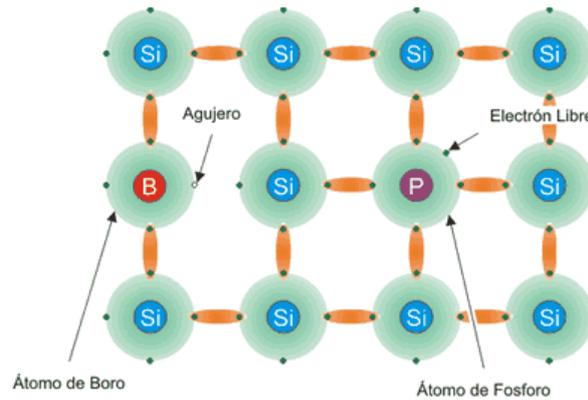


Figura 10 Dopado de Silicio.

Es un requisito que los módulos se fabriquen de acuerdo a la norma internacional IEC-61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación de tipo” o equivalente

Dicha norma establece las pruebas necesarias para evaluar los siguientes aspectos:

- Diagnóstico
- Requerimientos eléctricos
- Parámetros de rendimiento
- Requerimientos térmicos
- Requerimientos de irradiación
- Requerimientos de ambientales
- Requerimientos de mecánicos
- Protecciones

2.3.3. Baterías

Las baterías son acumuladores de energía, las baterías tradicionalmente se componen de circuitos de células de plomo. Es importante señalar que las baterías al estar compuestas principalmente de plomo son tóxicas y que no deben ser manipuladas a la ligera, por si esto no fuera poco también llevan en su interior ácido sulfúrico, el cual es altamente corrosivo, ambos componentes en conjunto llevan a cabo una reacción química la cual tiene como finalidad generar energía eléctrica, al ser una reacción química debemos tomar en cuenta que despiden gases los cuales son extremadamente peligrosos, ya que la acumulación de estos gases puede llegar incluso a provocar explosiones bastante fuertes.

2.3.3.1. Baterías de Gel:

Una batería de gel es también un acumulador de plomo-ácido, pero este se encuentra a presión y sellado, cuenta con respiraderos los cuales son válvulas especiales, por lo cual jamás deben ser abiertas y no requieren de mantenimiento alguno salvo la limpieza exterior de terminales, Usa un electrolito tixotrópico frío y la más interesante de sus cualidades y responsable de su durabilidad es que utiliza el principio de recombinación, esto es que el oxígeno que se genera en la placa positiva de todos los acumuladores se recombina con el hidrógeno generado en la placa negativa produciendo agua, la cual reemplaza la

humedad del acumulador con lo cual tenemos obtenemos la propiedad de libre de mantenimiento al cien por ciento; los respiraderos especiales son uno de los elementos más importantes de la batería ya que están calibrados de tal manera que mantiene una presión interna positiva, que de no tenerse provocaría que no se recombinaran el oxígeno e hidrogeno provocando con esto que la batería se seque y deje de funcionar.

En cuanto a sus aplicaciones tenemos que una batería de gel tiene ciclos de poder mucho más profundos lo que significa que puede otorgar la energía en un tiempo prolongado sin sufrir.

2.3.4. Inversor

El inversor de voltaje es un sistema que convierte la tensión de corriente continua, en un voltaje simétrico de corriente alterna, que puede ser de 220V o 120V, dependiendo del país o del uso que se le piense dar a este circuito. La frecuencia del inversor se calibra de acuerdo a la frecuencia requerida por el aparato o electrodoméstico que vallamos a alimentar o de la frecuencia usada comúnmente en la zona o país.

El inversor se utiliza en infinidad de aplicaciones, que van desde pequeñas UPS para computadores, hasta aplicaciones industriales de alta potencia. Otra gran aplicación de los inversores, es la de convertir la corriente continua generada por los paneles solares (que es almacenada

en baterías), en corriente alterna, para luego ser utilizada en el hogar o la industria rural, reemplazando el servicio de la red pública. También a partir del almacenamiento de energía en bancos de baterías de 48 voltios, se usa en recreación, aplicaciones náuticas y alimentación de sistemas de comunicaciones. A nivel casero se usa para la alimentación de televisores, reproductores de video y electrodomésticos en automóviles.

Este inversor consta de un oscilador que controla unos transistores, los cuales “switchean” la corriente proveniente de la batería, generando una onda cuadrada.

Esta onda cuadrada alimenta un transformador que eleva el voltaje (en este caso 120 voltios), y suaviza la forma de la onda, para que parezca más una onda senoidal. La forma de onda de salida un inversor ideal debería ser senoidal, pero esto no es tan sencillo, se requieren bastantes componentes electrónicos para tratar de lograr que una onda cuadrada simule satisfactoriamente a una onda senoidal. En este tutorial presentamos un inversor sencillo de 150W, de onda cuadrada, con una respuesta bastante buena. Tiene un relevo, que cambia su estado; de cargador de batería, a inversor y viceversa. Se pueden adicionar condensadores y bobinas para suavizar la onda, aunque lo mejor es hacer otros diseños.

Los inversores más modernos utilizan un tipo de transistores más avanzados, llamados FET (transistores de efecto de campo), que

manejan cantidades de corriente muy superiores a los transistores comunes.

CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA

3.1 Análisis del Sistema

Se pretende exponer de manera clara y sencilla una parte de la información necesaria para poner en marcha el diseño de una central solar fotovoltaica para el sistema de abastecimiento de agua potable.

Se utilizará diferentes métodos de estudios para plantear la implementación del diseño con el objetivo de mejorar las condiciones de vida y así como aprovechar la energía solar.

3.1.1 Calificación Eléctrica

Los límites de esta clasificación son convenciones y relativos según las posibilidades hidroeléctricas de cada país o región.

Tabla 2 Punto de vista europeo

CENTRAL	POTENCIA INSTALADA
Microcentrales	$P < 100 \text{ KW}$
De pequeña potencia	$100 \text{ KW} < P < 1\,000 \text{ KW}$
De media potencia	$1\,000 \text{ KW} < P < 10\,000 \text{ KW}$
De gran potencia	$P = > 10\,000 \text{ KW}$

Tabla 3 Punto de vista Centro América

CENTRAL	POTENCIA INSTALADA
Nano	$P \leq 1\text{KW}$
Pico	$1\text{ KW} < P < 10\text{ KW}$
Micro	$10\text{ KW} < P < 50\text{ KW}$
Mini	$50\text{ KW} < P < 1\ 000\text{ KW}$
Pequeñas	$1\text{ MW} < P < 5\text{ MW}$
Mediana	$5\text{ MW} < P < 30\text{ MW}$
Grande	$P = > 30\text{ MW}$

3.1.2 Demanda Máxima De Potencia

Tabla 4 Donde el consumo por día, representa la demanda máxima de energía.

CARGAS	UNIDADES	POTENCIA (KWH)	POTENCIA DEMANDADA	HORAS DE USO	CONSUMO POR DÍA (KW-H/D)
Electrobomba 50 HP	2	37.3	74.6	7.1	529.66
Electrobomba 7.5 HP	1	5.6	5.6	5	28
Electrobomba 2.2 HP	1	1.65	1.65	6	9.9
Otras	1	6	6	12	72
Total			87.85		639.56

3.1.3 Alcances del proyecto

El proyecto comprende el diseño de instalación de los equipos: Paneles solares, Reguladores o controladores de carga, Banco de baterías, Equipos de Inversores DC / AC de característica trifásica a 220 V a 60 Hz.

Desde el punto de generación hasta el punto de suministro.

3.1.4 Impacto Ambiental

3.1.4.1 Marco Político Legal

El proyecto es de carácter rural y están ubicadas principalmente en zonas de extrema pobreza, fuera del área de responsabilidad (llamada área de concesión eléctrica) de las Empresas Concesionarias de Distribución.

Estas empresas sólo se hacen cargo de su área de responsabilidad de acuerdo a la Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento. Las diferentes áreas de responsabilidad para distribución eléctrica constituyen sólo una pequeña parte del territorio nacional.

- Decreto ley N° 25844, ley de concesiones eléctricas Art. 216-217-218 (Usos de bienes públicos y de terceros)
- Decreto legislativo N° 613 código del medio ambiente y recursos naturales.
- Decreto supremo N° 29-94- EM Reglamento de protección ambiental en las autorizaciones y concesiones

3.1.4.2 Medidas de mitigación

3.1.4.2.1 Ambiente social

- Tener bastante claro las condiciones y magnitudes de aportes de mano de obra no calificada, a fin de no crear malestar en la población.

- fomentar el ambiente amistoso entre población y técnicos que participan en la obra.
- Otras medidas a adoptarse, están referidas a los artículos 216-217-218 de la Ley N° 25844 de concesiones Eléctricas (usos de bienes públicos y de terceros), cabe mencionar que en este proyecto el 100% de la tierra afectada es de propiedad de la comunidad.

3.1.4.2.2 Tendido de conductores

Al realizar las conexiones respectivas entre paneles solares ya sean en serie o en paralelo se debe tener cuidado que los conductores no toquen el piso.

3.1.4.2.3 Desechos

Luego de la conclusión de las obras, el responsable debe cuidar que los desechos inorgánicos: plásticos, metales, etc. No deben dejarse en la superficie, Si es preciso, aperturar hoyos para enterrar con una profundidad mínima de 2 metros en zonas relativamente alejadas de la población.

3.1.5 Criterios eléctricos

El punto de suministro energético (Red Secundaria) operara con las tensiones nominales normalizadas.

Red DC : 24V

Red trifásica : 380/220 V con frecuencia de 60 Hz, con

Salidas : Tres fases y un neutro.

La tensión de servicio monofásico será de 220V medidos entre un conductor de fase y neutro.

La caída de tensión en el punto más desfavorable de la red es 5%, es decir:

- Redes de 380 / 220V : 19 V
- Redes de 220 V : 11 V

3.1.5.1 Sistemas de puesta a tierra

En las redes secundarias en 380 / 220 V, el neutro de la red debe estar conectado a tierra, en la subestación, al final del circuito.

Los valores de la resistencia eléctrica de la puesta a tierra, serán:

- La resistencia a tierra en cualquier punto estando conectado todas las puestas a tierra será igual o menor a 5 ohm.
- La puesta a tierra debe consistir básicamente en uno o más electrodos enterrados, según detalle de armado típicos en los planos de diseño.

3.1.5.2 Pérdidas de energía y potencia.

Las pérdidas de energía y potencia en distribución son calculadas considerando el efecto Joule, las cuales por la naturaleza del estudio solamente, se refiere a las pérdidas técnicas del sistema.

Los valores de las perdidas serán menores a los permitidos en las normas vigentes.

3.2 Metodología

Antes de adentrarnos en el desarrollo del cálculo de un sistema fotovoltaico autónomo estándar, definiremos los pasos para el cálculo de los equipos que componen dicho tipo de sistema.

En primer lugar se debe introducir un concepto fundamental, el de las “Horas de Sol Pico” o HPS. Se puede definir como el número de horas en que disponemos de una hipotética irradiancia solar constante de 1000

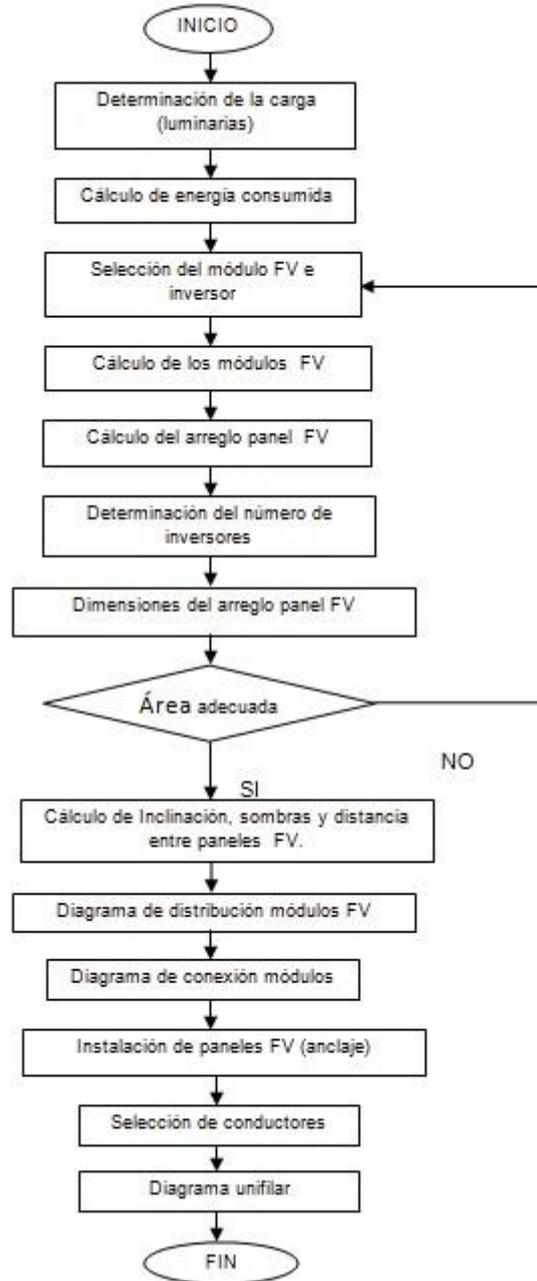
W/m². Es decir, una hora solar pico “HPS” equivale a 1Kwh/m² o, lo que es lo mismo, 3.6 MJ/m². Dicho en otras palabras, es un modo de contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo 1000 watts/m².

Para calcular entonces el valor de HPS se debe dividir el valor de la irradiación incidente entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de medida (STC), pues es en esas condiciones donde se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos. Ese valor de irradiancia en condiciones estándar de medida es de 1000 watts/m². Es decir, si se dispone de los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP. Por ejemplo, si tenemos una irradiación de 3.800 Wh/m², para pasarla a HSP, se divide entre 1.000W/m², con lo que obtenemos 3.8 HPS.

El procedimiento a seguir para dimensionar el sistema fotovoltaico autónomo es:

Para el cálculo y diseño del sistema fotovoltaico se requiere seguir los pasos del diagrama de flujo que se muestran en la Figura 11.

Figura 11. Diagrama de flujo de un sistema fotovoltaico.



Elaboración propia

A continuación, se describe cada uno de los pasos que marca la metodología de la Figura 11

- 1) Para realizar el cálculo del sistema fotovoltaico, se debe de obtener la carga instalada. Aquí siempre es fundamental los datos aportados por el consumidor, y deben ser siempre lo más realistas posibles para evitar desviaciones en el dimensionamiento. Si la instalación se realizara para una vivienda de uso diario todo el año, se escogerá el valor medio de todo el año. Si la instalación se realizara para el uso ocasional, por ejemplo, en verano, hay que escoger los valores de los meses de verano.
- 2) En este paso se calcula la energía consumida, con base a las horas en que se utilizan los equipos.
- 3) El paso siguiente es seleccionar el módulo FV e inversor de un fabricante.
- 4) Lo siguiente es calcular el número total de paneles FV que sean adecuados para la carga instalada.
- 5) A continuación se calcula el arreglo del panel FV dependiendo de las especificaciones de entrada/salida del inversor y panel.
- 6) Dimensionado del sistema de acumulación (número de baterías).
 - a. Para el dimensionado del sistema de acumulación es muy importante tener en cuenta los días de autonomía que se van a otorgar a la instalación, para proyectos domésticos se suelen tomar entre 3 y 5 días de autonomía, 6 o 7 días en caso de tratarse de zonas con baja irradiación donde pueden producirse

periodos de varios días en condiciones de poca luz. Para sistemas remotos suelen tomarse 7 y 10 días de autonomía.

b. Los dos parámetros importantes para el dimensionado de la batería son la máxima profundidad de descarga (estacional y diaria) y el número de días de autonomía. Como norma general, tomaremos estos parámetros:

c. Profundidad de Descarga Máxima Estacional ($PD_{max,e}$) = 70% = 0,7

d. Profundidad de Descarga Máxima Diaria ($PD_{max,d}$) = 15% = 0,15

7) Para transformar la corriente continua en corriente alterna se usan inversores, este paso consiste en calcular el número de inversores para el sistema fotovoltaico.

8) Ya seleccionados los paneles fotovoltaicos, se procede a calcular el área total que ocuparan estos; si excede el área total disponible, se tiene que volver a seleccionar el módulo FV e inversor, tal como lo se describe en el paso 2 y seguir los pasos correspondientes. Si el área es la adecuada se continúa con la metodología.

9) Después se calcula la inclinación, sombras y distancia entre paneles que son necesarios para un buen uso y aprovechamiento de estos.

10) En este paso se refiere al diagrama de distribución de los paneles FV.

11) Lo que sigue es realizar el diagrama de instalación eléctrica de los paneles FV, que incluye conexión serie y paralelo.

12) En este paso se realiza el diagrama de anclaje de los paneles FV, en donde se explicará cómo serán instalados los paneles fotovoltaicos y la manera en que serán anclados al mismo.

13) La determinación de los conductores en este paso, se hace necesaria para tener en cuenta la normatividad que debe ser utilizada en la selección de los conductores.

14) En este paso se hará el diagrama unifilar del SFV.

3.3 Diseño del Sistema

3.3.1 Cálculos eléctricos:

Se procede a realizar los cálculos eléctricos para lograr las cantidades de corriente, tensión y potencia de suministro para cubrir la demanda exigida y lograr el dimensionamiento apropiado de la minicentral.

3.3.2 Características de la RED

- Tensión : 380 / 220 V
- Frecuencia : 60 Hz.
- Sistema de servicio particular : Trifásico
- Sistema de Alumbrado : Monofásico
- Conductores : Por determinar

3.3.3 Dimensionamiento de la Mini Central:

3.3.3.1 Análisis de volumen de los reservorios y tiempo empleado por las electrobombas para llenarlos.

Reservorio Sucaraylla : $36\text{m}^3 + 36\text{m}^3 = 72\text{m}^3$

Reservorio Andahuaylas :1200m³ = 1200m³

Altura de Bombeo :85m

Total, del volumen de trabajo para las electrobombas = 1272m³

Se diseñará el catálogo de las electrobombas elegidas en el expediente técnico: AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LAS LOCALIDADES DEL VALLE CHUMBAO, DISTRITO DE SAN JERÓNIMO, ANDAHUAYLAS Y TALAVERA.

Dicha electrobomba tendrá las siguientes características técnicas:

Modelo	:	CR 90-3-1 A-F-A-E-HQQE
Velocidad para datos de bomba	:	3566 rpm
Caudal real calculado	:	30.68 l/s
Altura resultante de la bomba	:	83.7 m
Cierre	:	HQQE

Se usarán en el proyecto dos electrobombas para poder cubrir el caudal de trabajo que viene a ser de 60 l / s.

El cual se logrará instalando las electrobombas en paralelo.

Calculamos el tiempo en el que se llenaran por completo los reservorios:

Caudal del trabajo = Volumen total de trabajo m³ / t

1 m³ = 1000 l

$$50 \text{ l/s} = 1272 * 1000 / t$$

$$t = 25440 \text{ s} = 7\text{h } 4\text{min } 00 \text{ s}$$

El cual servirá para poder calcular las horas de consumo de energía eléctrica.

3.3.3.2 Análisis de cargas

$$\text{Potencia Demandada} = 87.85 \text{ KW}$$

$$\text{Energía consumida / día (ED)} = 639.56 \text{ KW-H / Día.}$$

NOTA:

Las tres electrobombas de 50 HP no funcionaran al mismo tiempo, solamente dos de ellas: electrobomba 1 y electrobomba 2, más por casualidades, pueden que se requiera activar la electrobomba de reserva (Electrobomba 3), pero por corto tiempo (t = 5 minutos).

3.3.3.3 Calculo del número de unidades de equipos que conforman la mini central fotovoltaica.

3.3.3.3.1 Calculo del número de paneles fotovoltaicos

Por fórmula matemática:

$$W_p = 1200 * ED / RAD \quad [W * \text{Dia} / m^2 * h]$$

W_p = Wat picos necesarios

ED = Energía consumida por Día

RAD = Radiación Solar de la Zona (Andahuaylas Invierno 4.5 KW/m²)

$$W_p = 1200 * 639.56 \text{ (KW-H / Día) / 4.5 (KW / m}^2\text{) [W*Dia / m}^2\text{*h]}$$
$$W_p = 170549 \text{ W}$$

El panel solar empleado será de: 230W / 29.7V

$$N \text{ paneles} = 170549 \text{ W / 230 W}$$
$$N \text{ paneles} = 741.58$$

N paneles = 742 paneles solares

Por Cálculos Eléctricos:

$$\text{Potencia generada (Pg)} = \text{Potencia consumida (Pc)}$$

$$\text{Energía producida} \times t_g = \text{Energía consumida} \times 1h$$

$$\text{Energía consumida} = 639.56 \text{ KW-H / Día (Dato)}$$

$$P_g * t = \text{Energía consumida (ED)}$$

$$P_g * t = 639.56 \text{ KW-H}$$

t = Tiempo de carga de baterías ("t" recomendado 3.7h = 3h 42 min 0s)

Cargara el sistema en 4 horas y el resto del día usara la energía directa del sol a las electrobombas y con las baterías se les da una autonomía de 2 días de funcionamiento sin sol.

$$P_g * 3.565H = 639.56KW-H... \text{ (Reemplazando)}$$

$$P_g = 179.399 \text{ KW}$$

El panel solar empleado será de: 230W / 29.7V

N paneles = Potencia generada/ Potencia por panel

$$N \text{ paneles} = P_g/P_p$$

$$N \text{ paneles} = 179399 \text{ W} / 230 \text{ W}$$

$$N \text{ paneles} = 779.99$$

N paneles = 780 paneles solares

Se usará la cantidad de 780 para obtener una conexión exacta con el número de controladores, de tal manera que todos los equipos trabajen equitativamente y por igual.

3.3.3.3.2 Calculo del número de controlador / regulador / cargador

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS:

- Corriente nominal solar en carga o en derivación: TriStar-45 45
TriStar-60 60A
- Voltaje del sistema 12-48V
- Precisión 12/24V: $\leq 0.1\% \pm 50mV$, 48V: $\leq 0.1\% \pm 100mV$

- Voltaje mínimo para operar 9V
- Máximo voltaje solar (Voc) 125V
- Consumo propio: Controlador <20mA, Medidor 7.5mA
 - Alta Eficiencia del 97%

PROTECCIONES ELECTRÓNICAS:

- Protección contra polaridad invertida(cualquier combinación)
- Protección ante cortocircuitos
- Protección contra excesos de corriente
- Protección contra rayos y picos de tensión, usando supresores de transitorios de voltaje de 4500 W
- Protección contra alta temperatura a través de una reducción automática de corriente o apagado completo
- Previene corrientes en reversa desde la batería por la noche.

Entonces: colocamos los paneles solares en serie hasta conseguir 4x

29.7V = 118.8V a 7.69A

$$n = P \text{ útil} / P \text{ entrada}$$

$$P \text{ entrada} = P \text{ útil} / n$$

$$P \text{ entrada} = V * I / n$$

$$P \text{ entrada} = 48 \times 60 / 0.97$$

$$P \text{ entrada} = 2969.0722 \text{ W}$$

$$P \text{ entrada} = 2969.0722 \text{ W} = V \text{ entrada} * I \text{ entrada}$$

$$P \text{ entrada} = 1484.5361$$

$$P \text{ entrada} = 118.8V * I \text{ entrada}$$

$$2969.0722W = 118.8V * I \text{ entrada}$$

$$\mathbf{24.9922A = I \text{ entrada}}$$

Cuya corriente es la que requiere el controlador para producir
60 A

Ahora corriente producida por panel:

$$P = V * I$$

$$230 W = 29.7V * I$$

$$I = 7.7441 A$$

¿Cuántos paneles serán necesarios para producir dicha corriente?

N paneles necesarios = Potencia generada/ Potencia por
panel

$$N \text{ paneles} = P_g / P_p$$

$$N \text{ paneles necesarios} = 24.9922A / 7.744 A$$

$$N \text{ paneles necesarios} = 3.2499$$

Entonces se requerirán 4 paneles conectadas en serie para obtener
118.8V y 3 grupos de 4 conectados en paralelo para producir una
corriente de 23.07A.

Total 12 paneles solares por controlador.

Tenemos:

12 paneles solares / 1 controlador

Y un total de 780 paneles

65 x 12 paneles = 780 paneles

65 x 1 controladores = 65 controladores

N° controlador = 65 Controladores

3.3.3.3.3 Cálculo del número de acumuladores / baterías

Por fórmula matemática:

$$T = [DSS \times ED] / [n \text{ batería} \times \% \text{descarga bat.}]$$

DSS : Días sin sol

ED : Energía consumida por Día

n batería : Eficiencia de la Batería (0.8)

%descarga bat. : Porcentaje de descarga de la batería
(0.5 Recomendado)

Tenemos:

$$T = [1 \text{ día} \times 639.56 \text{ KW-H/ día}] / [0.8 \times 0.5]$$

$$T = 1598.9 \text{ KW-H}$$

Las características técnicas de la batería son: 3000 A*H / (10H) a 24V DC.

La Energía entregada por la batería es:

$$E = V \times I \times t$$

$$E = 1 \times 624V \times 3000 \text{ A-H}$$

$$E = 1872\text{KW-H}$$

$$N \text{ baterías} = T/E$$

$$N \text{ baterías} = 1598.9 \text{ KW-H} / 1872 \text{ KW-H}$$

$$N \text{ baterías} = 0.8541$$

Nº Baterías = 1 Batería

Para lograr este cometido es necesario colocar las salidas de los controladores 5 en paralelo, teniendo 13 unidades de 5 en paralelo produciendo cerca a 300A. Ahora estas 13 unidades en paralelo, se conectan en serie para producir $48V \times 13 = 624V$.

3.3.3.3.4 Cálculo Del Número De Inversores:

Tomando entonces los límites de trabajo del inversor de red:

Tensión límite 900V

Entonces según datos del panel solar

V máximo de trabajo = 29.7V

Entonces:

5 unidades de controladores conectados en paralelo producen 300A a 48V

13 unidades de 5 paralelos, conectados en serie producen 300A a 624V.

Tenemos 12 paneles solares de potencia 29.7V x 7.69 A y los controladores en paralelo a tensión de 48V

$$4 \times 29.7V \times 3 \times 7.69A \times 0.97 = 48V \times I \text{ sistema}$$

$$55.385A = I \text{ sistema}$$

$$55.385A \times 5 = I \text{ sistema}$$

$$276.9265A = I \text{ sistema}$$

No se supera la corriente de batería y la del inversor que es 500A

Ahora la conexión en serie de las unidades en paralelo:

$$13 \times 48V = 624V$$

No se supera la Tensión límite del inversor de red 900V

Análisis de potencia:

$$P \text{ sistema} = 624V \times 276.9265A$$

$$P \text{ sistema} = 172802.136 \text{ W}$$

$$P \text{ sistema} = 172.802136 \text{ KW}$$

Conclusión: El sistema no se fatiga.

Nº inversores = 1 inversor de red

Análisis de potencia en el inversor:

$$P \text{ sistema} = 624V \times 276.9265A$$

$$P \text{ sistema} = 172802.136 \text{ W}$$

$$P \text{ sistema} = 172.802136 \text{ KW}$$

$$P \text{ sistema} \times n \text{ inversor} = P \text{ salida AC}$$

$$172802.136 \text{ W} \times 0.96 = 230V \times I \times \sqrt{3}$$

$$416.42A = I \text{ AC}$$

3.3.3.3.5 Determinación del conductor de cobre:

Consideramos cuatro tramos:

TRAMO PANEL - CONTROLADOR:

- Se considera una caída de tensión del 3%:

$$V1-2 = 0.03 \times 118.8V$$

$$V1-2 = 3.564V$$

Entonces el conductor apropiado será de:

$$S1-2 = 2 \times \frac{(L \times I)}{K \times V 1-2}$$

$$(K \times V 1-2)$$

$$S1-2 = 2 \times (70m \times 23.07A) / (56 \times 3.564V) \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2$$

$$\mathbf{S1-2 = 16.1826 \text{ mm}^2 = 5 \text{ AWG}}$$

$$\mathbf{Diámetro = 4.62 \text{ mm}}$$

TRAMO CONTROLADOR –BATERÍA:

- Se considera una caída de tensión del 1%:

$$V2-3 = 0.01 \times 624V$$

$$V2-3 = 6.24V$$

Entonces el conductor apropiado será de:

$$S2-3 = 2 \times \frac{(20m. \times 276.9265A)}{(56 \times 6.24V) \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2}$$

$$(56 \times 6.24V) \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2$$

$$S2-3 = 31.6995 \text{ mm}^2$$

$$\mathbf{S2-3 = 31.6995mm^2 = 2 AWG}$$

$$\mathbf{Diámetro = 6.54 mm}$$

TRAMO CONTROLADOR – INVERSOR:

- Se considera una caída de tensión del 1%:

$$V3-4 = 0.01 \times 624V$$

$$V3-4 = 6.24V$$

Entonces el conductor apropiado será de:

$$S3-4 = 2 \times \underline{(10m. \times 276.9265A)}$$

$$(56 \times 6.24V) \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2$$

$$S3-4 = 15.8497 \text{ mm}^2$$

$$\mathbf{S2-3 = 15.8497mm^2 = 5 AWG}$$

$$\mathbf{Diámetro = 4.62 mm}$$

TRAMO INVERSOR – CARGA (OPCIONAL):

- Se considera una caída de tensión del 2% al punto de acometida:

$$\%V = 0.02 \times 230V$$

$$\%V = 4.6V$$

Entonces el conductor apropiado será de:

$$S_{2-3} = 2 \times \frac{(12m. \times 416.42A)}{(56 \times 4.6V) m/\Omega.mm^2}$$

$$S_{2-3} = 38.6979 \text{ mm}^2$$

$$\mathbf{S_{2-3} = 15.8497mm^2 = 1 \text{ AWG}}$$

$$\mathbf{Diámetro = 7.35 \text{ mm}}$$

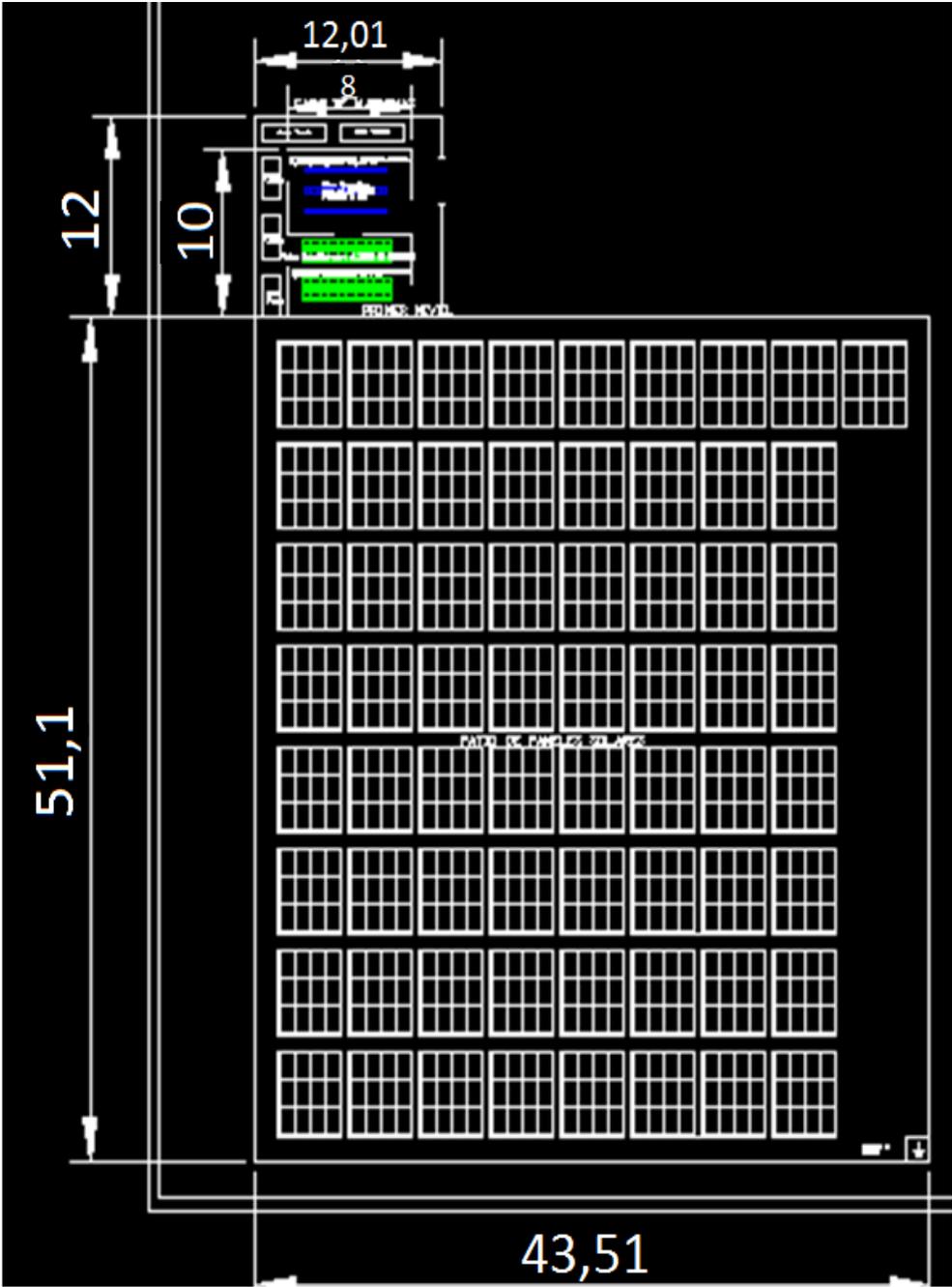
3.3.3.3.6 Área del proyecto

Se tomarán las siguientes áreas:

$$\begin{aligned} \text{Área total para patio de paneles solares:} & \quad A = 51.1m \times \\ & \quad 43.51m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Separación entre soportes de paneles} & \quad : \quad \text{Ancho} = 0.5m \\ & \quad \text{Largo} = 1m \end{aligned}$$

Figura 12 Diseño del panel solar fotovoltaico.



Elab
oraci
ón
prop
ia

3.3.3.3.7 Mapa de energía solar incidente en territorio peruano:

A. MAPA DE ENERGIA SOLAR EN PERÚ

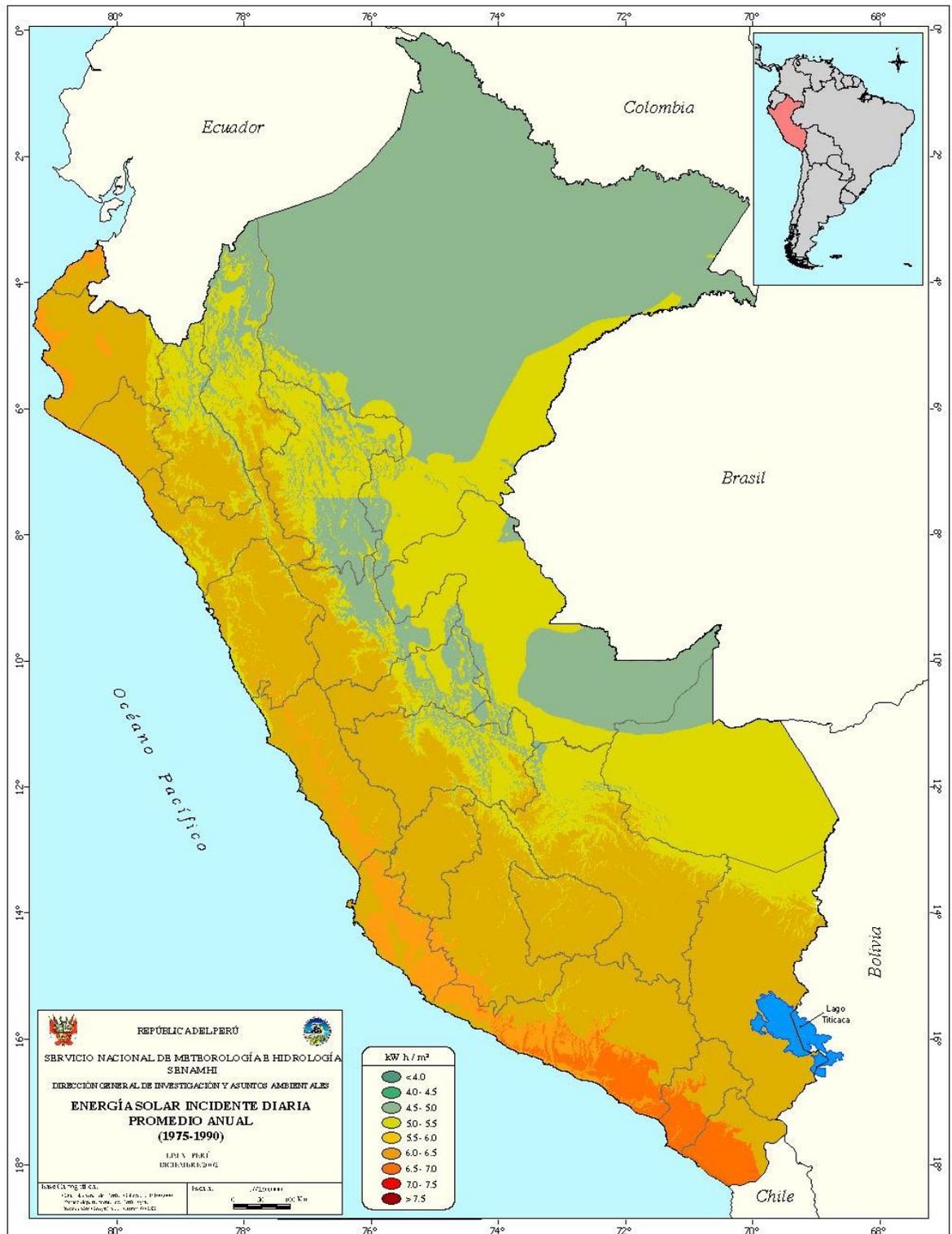


Figura 13 Mapa de energía solar en Perú.

B. MAPA DE ENERGIA SOLAR EN APURIMAC

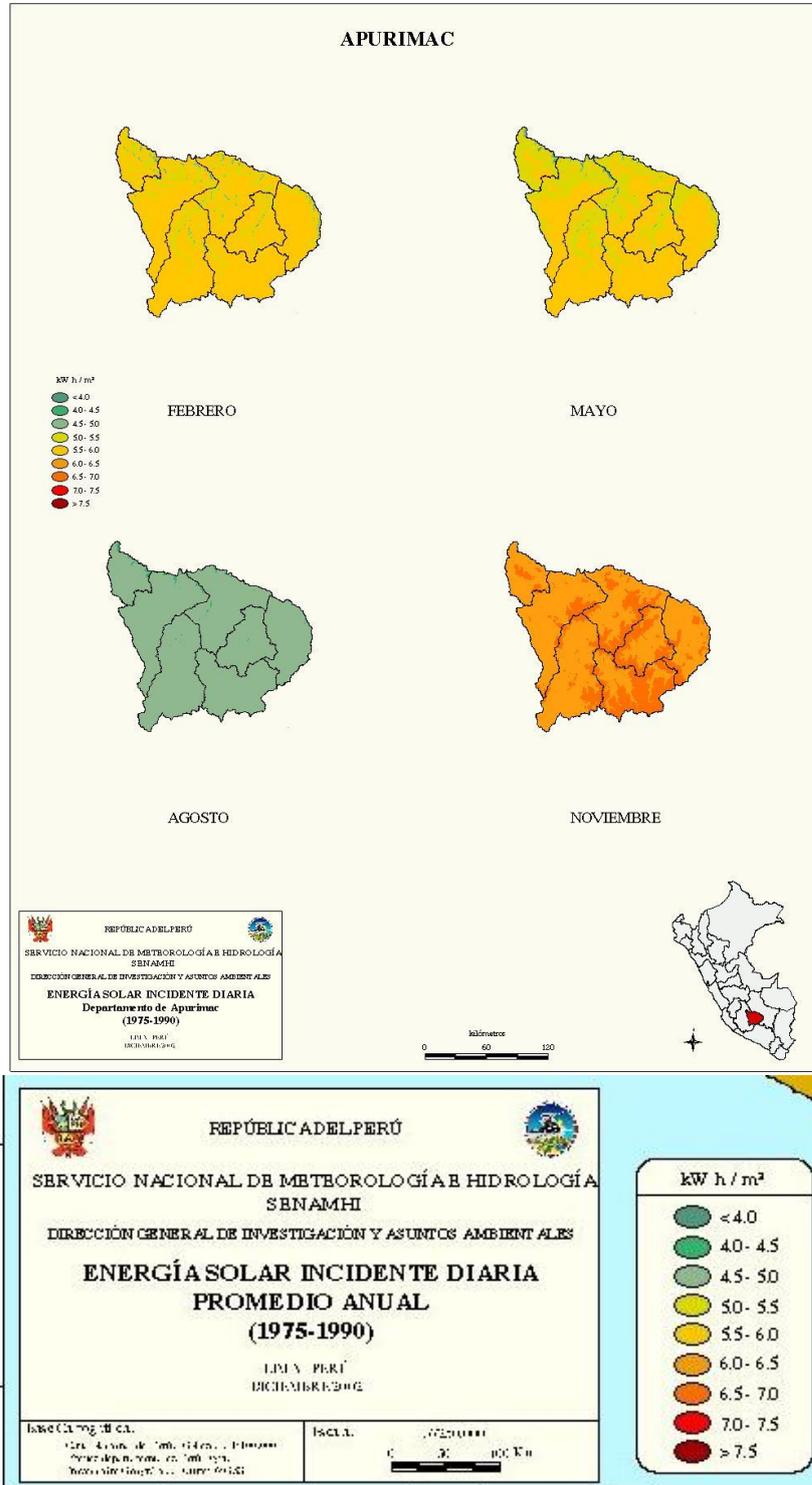


Figura 14 Mapa de energía solar en Apurímac.

En las Figuras 13 y 14 se puede apreciar la incidencia solar en Apurímac, dando así la viabilidad del proyecto a largo plazo, se tiene una incidencia solar aproximada de 6.5 KW h/m³, con esto se demuestra y comprueba que la planta de tratamiento de agua potable va a tener energía de manera continua para su apto funcionamiento.

3.4 Previsión y consolidación de resultados

El proyecto ha tratado el cálculo y diseño de una Instalación Solar fotovoltaica situada en la localidad de Sucaraylla – Andahuaylas, haciendo uso de los beneficios de los recursos de la zona como: Radiación solar principalmente. Asimismo se han seleccionado los componentes considerados óptimos, de los diferentes fabricantes del mercado que aportan al proyecto la mejor solución técnica serán señalados en los anexos. En el proceso se ha tenido en cuenta el pliego de condiciones actualmente en vigor contemplando los siguientes puntos:

- Diseño del generador fotovoltaico: se han empleado 780 paneles distribuidos en serie y paralelo y se han obtenido 160,728kW nominales (179,4kWp) de potencia a condiciones de 1000W/m² y 121,96kW a condiciones de 750W/m² (Máxima radiación solar de Sucaraylla).
- Estructura de paneles fija: Se han usado estructuras de paneles homologadas con capacidad de 60 paneles cada una. Se han instalado un

total de 13 estructuras con una distancia de separación de 7,41m para que no se produzcan zonas de sombra indeseadas.

Tendrá la capacidad de entregar energía eléctrica aun en la noche, ello debido a que en su diseño se ha incorporado el uso de baterías especiales y un solo inversor de red, cada grupo de paneles solares tiene un arreglo serie-paralelo que aun si uno falla no provoca que se abra el circuito en todo el sistema.

CONCLUSIONES

Al interpretar los mapas de energía solar incidente en el territorio peruano elaborado por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología), se concluye que la incidencia solar sobre el territorio de Apurímac es apta para la implementación de un sistema fotovoltaico debido a su posición respecto al ángulo de incidencia del sol.

La intensidad de radiación solar hace posible que el sistema funcione de manera eficiente en todo momento.

La viabilidad de este proyecto estará dada de acuerdo a la inversión que destine el gobierno ya sea regional o central.

RECOMENDACIONES

A trabajos futuros se recomienda, el uso de un sistema de seguimiento de luz solar, para maximizar la recepción de energía solar.

También este tipo de proyectos pueden ser aprovechados para la obtención de bonos de carbono, los cuales pueden ser tramitados por el gobierno central o gobierno regional.

Aplicar los sistemas fotovoltaicos en zonas donde sea difícil el acceso para la red eléctrica y la radiación solar sea adecuada.

BIBLIOGRAFIA

Green, M. A. (2002). *Energía fotovoltaica: de la luz solar a la electricidad usando células solares*. Acribia.

Jutglar, L. (2004). *Energía Solar*. Barcelona: Editorial CEAC.

John Wiley & Sons (1974). *Solar Engineering of Thermal Process*. University Wisconsin Madison

Romero Taus, M. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. Barcelona: Ediciones CEAC.

Loeza, F.A.; Carmona, C & Tenorio, J, (2012) *Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco*, México, D.F. Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Referencias de Figuras

Figura 1:

SolarGis.com (2014), Mapa irradiación horizontal de Latinoamérica y El Caribe. Recuperado de <http://solargis.info>

Figura 2:

Phinet.cl (2014). Espectro de Radiación Solar. Recuperado de <http://www.phinet.cl/ds/teoria/>

Figura 3

Calculationsolar.com (2013). Estimación radiación solar, horas sol pico.
Recuperado de <http://calculationsolar.com/blog/?cat=2>

Figura 4:

Imagui.com (2015). Movimiento aparente del sol en función de la hora del día y la época del año. Recuperado de <http://www.imagui.com/a/imagenes-del-movimiento-del-sol-para-imagenes-cEXGE8MqL>

Figura 5

Valdiviezo P., (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el Suministro de energía eléctrica a 15 computadoras Portátiles en la PUCP.

Figura 6

Valdiviezo P., (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el Suministro de energía eléctrica a 15 computadoras Portátiles en la PUCP.

Figura 7

Valdiviezo P., (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el Suministro de energía eléctrica a 15 computadoras Portátiles en la PUCP.

Figura 8

Dforcesolar.com (2010). Efecto Fotoeléctrico. Recuperado de <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/efecto-fotoelectrico/>

Figura 9

Energiafotovoltaica.ws (2013). Células fotovoltaicas de silicio. Recuperado de <http://www.energiafotovoltaica.ws/celdas/celulas-fotovoltaicas-silicio.html>

Figura 10

Textoscientificos.com (2005). Celdas Solares. Recuperado de <https://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

Figura 13

Deltavolt.pe (1990). Radiación (Irradiancia) Anual y por Mes. Recuperado de <http://deltavolt.pe/atlas/atlassolar/radiacion-mes>

Figura 14

Deltavolt.pe (1990). Radiación Solar por Departamento. Recuperado de <http://deltavolt.pe/atlas/atlassolar/radiacion-departamento>

ANEXOS

Anexo 1: Ficha Técnica de Panel Solar

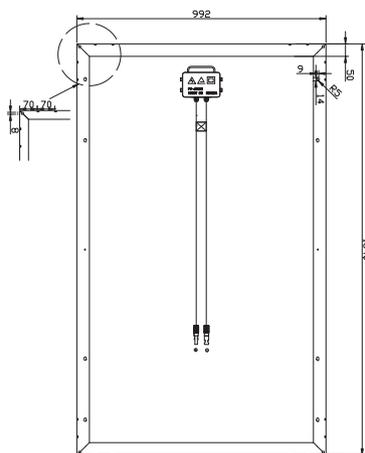
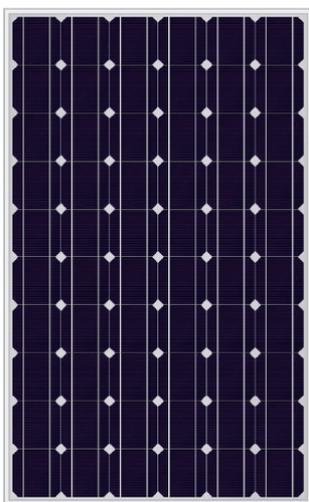
Anexo 2: Ficha Técnica de Baterías

Anexo 3: Ficha Técnica de Inversor

Anexo 4: Ficha Técnica de Controlador



SIMAX 156 Solarmodule (SM660-230W-240W-250W)



Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline silicon 156x156(mm)
No. of Cells	60 (6 x 10)
Dimensions	1640 x 992 x 40 / 50 (mm)
Weight	19.1 kg
Front Glass	3.2mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy

Output

Cable Type	Ø = 4 mm ²
Lengths	L = 900 mm
Junction Box	PV - JB003 MC4

Temperature Coefficients

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45 ± 2°C
Temperature Coefficient of (P _{max})	-0.39% / °C
Temperature Coefficient of (V _{oc})	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of (I _{sc})	0.036% / °C

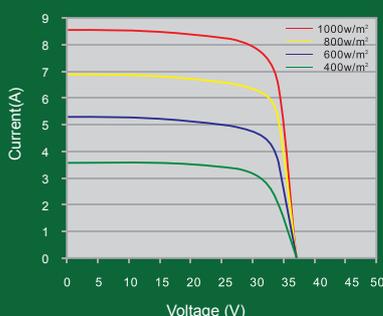
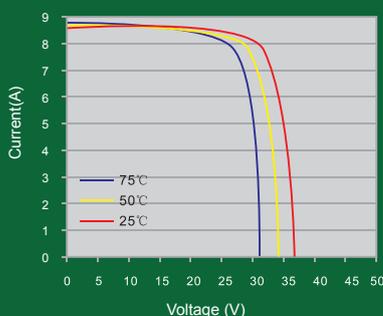


Photon

Parameters	SM660-230	SM660-240	SM660-250
Peak power [Wp] P _{mpp}	230W	240W	250W
Power Tolerance	0~+3%	0~+3%	0~+3%
Module Efficiency (%)	14.8%	15.1%	15.3%
Open circuit voltage [V] V _{oc}	36.8	37.4	38.1
Maximum Power Voltage [V] (V _{mpp})	29.7	30.2	30.7
Maximum Power Current [A] (I _{mpp})	7.69	7.94	8.15
Short circuit Current [A] (I _{sc})	8.30	8.58	8.80

STC: Irradiance : 1000 W/m²; Spectrum AM 1,5; Cell temperature: 25°C; Wind 0 m/s

- Provide the best solutions for photovoltaic power generation and technical support
- Provide Cost-effective products
- Provide 12 Years Quality Warranty
- Power out ≥ 90% in 10 years
- Power out ≥ 80% in 25 years



Simax Green New Energy (Europa) GmbH
 Mergenthaler Allee 23 / 25
 65760 Eschborn / Germany
 Tel.: +49 6196 9739 525
 Fax: +49 6196 5929 684
 info@simaxsolar.com
 www.simaxsolar.de

Simax (Suzhou) Green New Energy Co.,ltd
 Address: No. 567 Suzhou Road, Taicang city,
 Jiangsu province, China
 P.C.: 215400
 Tel: +86 512 5337 8555
 Fax: +86 512 5337 8556
 info@simaxsolar.com
 www.simaxsolar.com

Simax (Australia) Green New Energy Pty Ltd
 5/78 Frankston Gardens Drive,
 Carrum Downs, VIC 3210
 Tel: +61 03 9708 2400
 Fax: +61 03 9708 2482
 info@simaxsolar.com
 www.simaxsolar.com.au

24 OPzS3000

2V 3000AH

OPzS - UzS

Ultracell®

'Quality in Every Language'

24 OPzS3000

Awaiting Image

Physical Specification

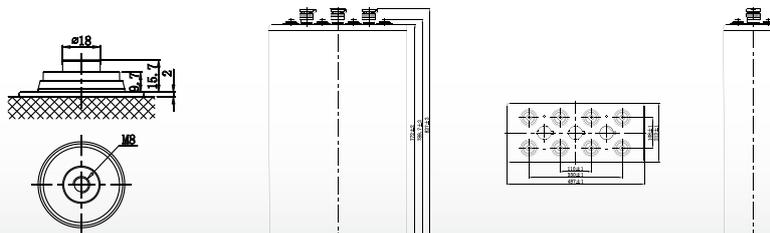
Part Number:	24 OPzS3000
Length:	576 ± 3 mm (22.7 inches)
Width:	212 ± 3 mm (8.35 inches)
Container Height:	772 ± 3 mm (30.4 inches)
Total Height (with terminal):	827 ± 3 mm (32.56 inches)
Approx Weight:	Without Electrolyte 164.5 kg (362.7lbs) With Electrolyte 224.5 kg (495.0lbs)

Specifications

	Nominal Voltage	2V
	Nominal Capacity (10HR)	3283.0AH
Terminal Type	Standard Terminal	-
	Optional Terminal	-
Container Material	Standard Option	SAN transparent container
Rated Capacity	3690 AH/3690A	(100 hr, 1.80V/cell, 20°C/68°F)
	3283.0 AH/328.3A	(10hr, 1.80V/cell, 20°C / 68°F)
	2916.0 AH/583.2A	(5hr, 1.75V/cell, 20°C / 68°F)
	2625.0 AH/875.0A	(3hr, 1.75V/cell, 20°C / 68°F)
Max Discharge Current	24000A (5s)	
Internal Resistance	Approx 0.11mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -15 ~ 50°C (5 ~ 131°F)
		Charge: 0 ~ 40°C (5 ~ 113°F)
		Storage: -15 ~ 40°C (5 ~ 113°F)
	Type and number of poles	F8/8
Charging	Floating voltage: 2.23V~2.25V at 20°C(68°F)Temp. Boost charge: 2.30V~2.40V at 20°C(68°F)Temp. Charging current(max.): 0.1CA Temp.Coefficient -3mV/°C	
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	86%
Design Floating Life at 20°C	20 Years	
Self Discharge	Ultracell OPzS batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

Dimensions

Terminal



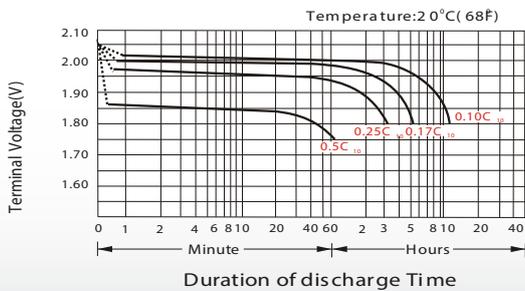
Constant Current Discharge (Amperes) at 20 °C (68°F)

F.V/Time	30min	45min	1h	1.5h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.60V/cell	2880.0	2320.0	1971.0	1498.0	1230.0	919.3	738.3	618.0	538.4	426.0	353.1	190.5
1.65V/cell	2700.0	2204.0	1866.0	1446.0	1186.5	897.0	720.0	611.4	532.6	420.4	347.4	187.7
1.70V/cell	2502.0	2080.0	1788.0	1392.0	1150.5	875.0	705.0	600.0	522.5	412.9	342.0	185.4
1.75V/cell	2247.0	1920.0	1680.0	1330.0	1104.0	846.0	686.3	583.2	509.9	406.9	336.8	183.0
1.80V/cell	1891.0	1688.0	1525.0	1244.0	1058.0	811.0	663.6	561.6	493.9	393.9	328.3	180.0
1.85V/cell	1614.0	1424.0	1314.0	1112.0	952.5	749.0	618.8	526.6	465.1	376.9	314.1	174.4

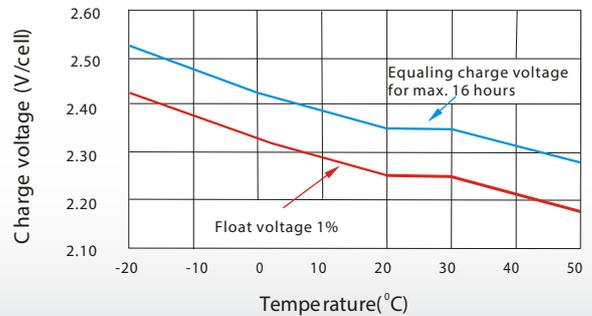
Constant Power Discharge (Watts) at 20 °C (68°F)

F.V/Time	30min	45min	1h	1.5h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.60V/cell	4916.2	4060.0	3499.5	2692.9	2236.7	1683.7	1364.1	1149.7	1008.1	801.1	666.7	361.1
1.65V/cell	4709.1	3902.6	3340.5	2612.5	2168.4	1651.1	1337.0	1143.1	1002.2	794.5	659.2	357.6
1.70V/cell	4423.5	3721.7	3225.0	2531.6	2111.8	1618.4	1313.4	1126.3	986.5	783.4	651.1	354.5
1.75V/cell	4039.5	3472.1	3058.9	2436.4	2041.2	1574.6	1285.1	1099.9	965.8	774.6	644.3	351.5
1.80V/cell	3445.8	3099.0	2812.3	2305.1	1973.6	1520.9	1250.0	1064.2	941.3	754.0	631.3	347.6
1.85V/cell	2990.7	2652.3	2458.8	2088.7	1796.5	1419.7	1177.5	1006.5	893.4	727.0	608.8	339.5

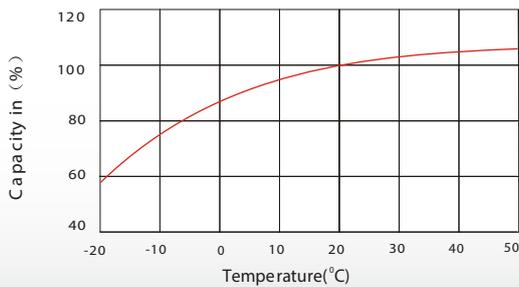
Discharge Characteristics



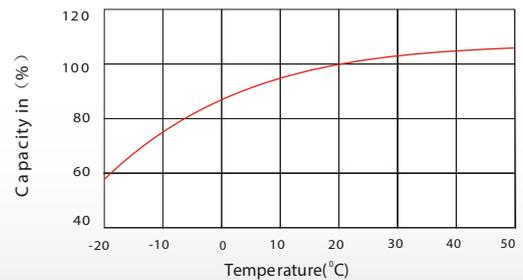
Charge voltage Vs ambient temperature curve



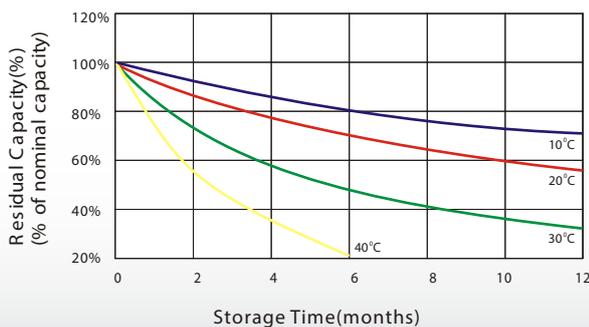
Discharge capacity Vs Ambient temperature curve (110A)



Relation curves of service life and ambient temperature



Self Discharge Characteristics



No supplementary charge required (Carry out supplementary charge before use if 100% capacity is required.)

Supplementary charge required before use. Optional charging way: 1.Charged for above 3 days at current 0.1C A and constant volatge 2.25V/cell. 2.Charged for above 20hours at current 0.1C A and constant volatge 2.45V/cell. 3.Charged for 8~10hours at limited current 0.05CA .

Supplementary charge may often fail to recover the capacity. The battery should never be left standing till this is reached.

 **PVmaster**
Inversor central





¿Qué hacemos?

LTi REEnergy GmbH es una de las empresas con mayor crecimiento del grupo y se dedica desde hace más de una década al sector de energías renovables. Los tres puntos principales de este sector son: energía eólica, biomasa y energía solar.

En el segmento de energía solar, LTi REEnergy ofrece inversores de la serie PVmaster 450. Este inversor es un producto tecnológicamente avanzado y se fabrica con potencias a partir de 33 kW. Además es perfectamente apropiado para aplicaciones con placas fotovoltaicas de silicio y placas fotovoltaicas de capas finas.

En el segmento de energía eólica, LTi REEnergy ofrece inversores y sistemas completos para el ajuste de las palas de aerogeneradores mediante un motor eléctrico. Hasta el año 2007, la empresa ha suministrado más de 5.000 sistemas y componentes, y figura en este segmento como líder a nivel mundial.

En el segmento de biomasa, la empresa desarrolla y fabrica sistemas que aprovechan calor residual procedente de cualquier proceso. Bajo el concepto de energías renovables, las instalaciones que usen biocombustibles (como por ejemplo combustiones de biogas, aceites, pelets) o incluso centrales solares térmicas tienen la oportunidad de convertir mediante nuestros generadores el calor en energía eléctrica.

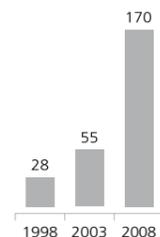
¿Quiénes somos?

El grupo de empresas LTi figura entre los pioneros de la tecnología de inversores y cuenta con más de 35 años de experiencia en este sector. En los últimos años la empresa se ha posicionado como líder indiscutible en este segmento, todo ello gracias a soluciones tecnológicas de alto nivel en el ámbito industrial, donde ya se han utilizado más de 1 millón de inversores.

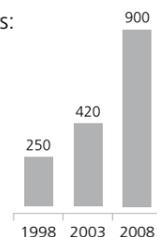
El grupo de empresas LTi tiene una plantilla con más de 850 trabajadores en todo el mundo y está representado mediante una amplia red de venta y servicio en Europa, Asia y América. El futuro de la empresa se garantiza con un crecimiento continuo gracias a una sólida base tecnológica, productos de máxima calidad y tecnología punta.

Según el Dr. Wolfgang Lust, gerente del grupo de empresas, „El valor de seguir nuevos caminos es la clave para construir el futuro y conseguir el éxito.“

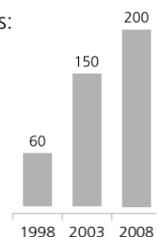
Venta (Mio. EUR):



Colaboradores:



Patentes:



¿Por qué usar PVmaster?

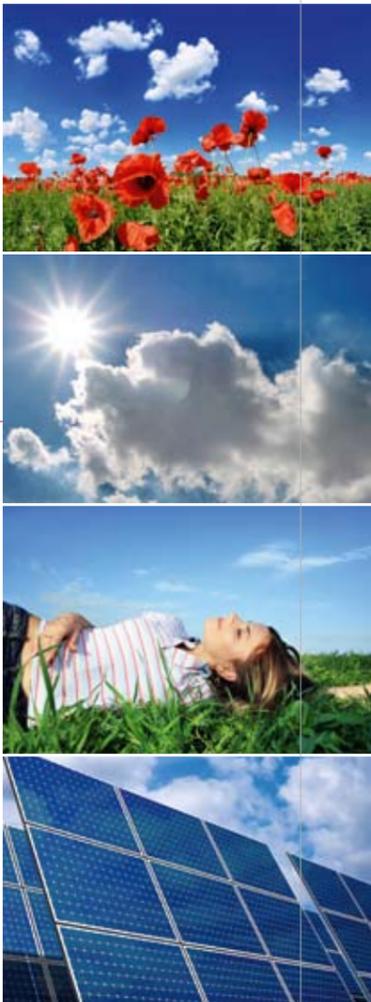
El PVmaster ofrece fiabilidad, comodidad y eficiencia alta.

La enorme experiencia de LTi en el campo de inversores y el gran número de piezas fabricadas aseguran la alta calidad del PVmaster. Usted puede lograr excelentes rendimientos con su central fotovoltaica gracias a componentes de alta calidad y a sofisticados algoritmos de regulación.

El PVmaster es silencioso y se suministra totalmente parametrizado. Compruebe por si mismo cómo se suministra el primer Watio de potencia a la red justo después de su instalación.

Un sistema de monitorización integrado registra los datos de funcionamiento como por ejemplo los parámetros de entrada, salida y temperatura. El sistema guarda todos los registros en un período de 30 días. Este registro puede enviarse por Internet. En casos urgentes esta información se le proporciona directamente desde el PVmaster mediante un SMS.

El PVmaster no requiere mantenimiento gracias a sus componentes de alta calidad. No obstante, si fuera necesaria una intervención técnica, las integradas funciones de diagnóstico le ayudan a identificar el elemento averiado. La estructura modular permite una rápida y sencilla sustitución de los componentes.





Datos técnicos

Descripción	PVM 450-033	PVM 450-047
Salida red AC		
Potencia nominal AC	33 kW	47 kW
Tensión de red	400 V, 3 x 290 V ¹⁾	400 V, 3 x 290 V ¹⁾
Frecuencia de red	50 Hz, 60 Hz	50 Hz, 60 Hz
Fusible de red (conexión a 400 V)/corriente máx. de salida AC	63 A	80 A
Factor de potencia λ	0,999	0,999
Entrada red DC		
Potencia máxima DC	39 kWp	56 kWp
Tensión de entrada DC máxima	900 V	900 V
Corriente de entrada DC máxima	80 A	120 A
Rango MPP	450 V a 850 V	450 V a 850 V
Seguidores de MPP	1	1
Eficiencia		
Eficiencia máxima	>96 ²⁾ , >97 ³⁾ , >98 ⁴⁾	>96 ²⁾ , >97 ³⁾ , >98 ⁴⁾
Eficiencia europea	>95 ²⁾ , >96 ³⁾ , >97 ⁴⁾	>95 ²⁾ , >96 ³⁾ , >97 ⁴⁾
Dimensiones⁵⁾		
Altura	1800 mm	1800 mm
Ancho	600 mm	800 mm
Profundidad	600 mm	600 mm
Peso	360 kg	500 kg
Datos generales		
Topología	2), 3), 4)	2), 3), 4)
Temperatura de servicio	-20 °C a +40 °C	-20 °C a +40 °C
Grado de protección	IP 43, Versión a la intemperie ¹⁾	
Sistema de refrigeración	Versiones distintas para la intemperie/interiores	
Consumo propio: funcionamiento/noche	<1 % Potencia nominal AC / 0 W	
Características adicionales	<ul style="list-style-type: none"> • Protocolo automático de parámetros mediante el sistema de monitorización y envío de notificación de averías por SMS • Protección de sobretensiones, Interruptor principal DC, Resistencia al cortocircuito • Monitorización de fallo de tierra y de red 	
Opciones	<ul style="list-style-type: none"> • Pantalla táctil • Módem GPRS • Versión a la intemperie, Caseta para intemperie por PVmaster • Caja conexión string • Contrato de mantenimiento, garantía prolongada • Principio Multimaster 	

	PVM 450-068	PVM 450-100	PVM 450-200
Salida red AC			
Potencia nominal AC	68 kW	100 kW	200 kW
Tensión de red	400 V, 3 x 290 V ¹⁾	400 V, 3 x 290 V ¹⁾	400 V, 3 x 290 V ¹⁾
Frecuencia de red	50 Hz, 60 Hz	50 Hz, 60 Hz	50 Hz, 60 Hz
Fusible de red (conexión a 400 V)/corriente máx. de salida AC	120 A	160 A	315 A
Factor de potencia λ	0,999	0,999	0,999
Entrada red DC			
Potencia máxima DC	81 kWp	120 kWp	240 kWp
Tensión de entrada DC máxima	900 V	900 V	900 V
Corriente de entrada DC máxima	160 A	250 A	500 A
Rango MPP	450 V a 850 V	450 V a 850 V	450 V a 850 V
Seguidores de MPP	1	1	2
Eficiencia			
Eficiencia máxima	>96 ²⁾ , >97 ³⁾ , >98 ⁴⁾	>96 ²⁾ , >97 ³⁾ , >98 ⁴⁾	>96 ²⁾ , >97 ³⁾ , >98 ⁴⁾
Eficiencia europea	>95 ²⁾ , >96 ³⁾ , >97 ⁴⁾	>95 ²⁾ , >96 ³⁾ , >97 ⁴⁾	>95 ²⁾ , >96 ³⁾ , >97 ⁴⁾
Dimensiones⁵⁾			
Altura	1800 mm	1800 mm	1800 mm
Ancho	1000 mm	1400 mm	2000 mm
Profundidad	600 mm	600 mm	600 mm
Peso	700 kg	900 kg	1750 kg
Datos generales			
Topología	2), 3), 4)	2), 3), 4)	2), 3), 4)
Temperatura de servicio	-20 °C a +40 °C	-20 °C a +40 °C	-20 °C a +40 °C
Grado de protección	IP 43, Versión a la intemperie ¹⁾		
Sistema de refrigeración	Versiones distintas para la intemperie/interiores		
Consumo propio: funcionamiento/noche	<1 % Potencia nominal AC / 0 W		
Características adicionales	<ul style="list-style-type: none"> • Protocolo automático de parámetros mediante el sistema de monitorización y envío de notificación de averías por SMS • Protección de sobretensiones, Interruptor principal DC, Resistencia al cortocircuito • Monitorización de fallo de tierra y de red 		
Opciones	<ul style="list-style-type: none"> • Pantalla táctil • Módem GPRS • Versión a la intemperie, Caseta para intemperie por PVmaster • Caja conexión string • Contrato de mantenimiento, garantía prolongada • Principio Multimaster 		

¹⁾ Otras tensiones de salida y otras clases de protección bajo consulta ²⁾ PVmaster con transformador integrado para separación galvánica entre el lado DC y el lado AC
³⁾ PVmaster sin separación galvánica entre el lado DC y el lado AC ⁴⁾ PVmaster sin transformador para conexión directa de un transformador de media tensión a la salida de 3x290V
⁵⁾ Medidas sin zócalo

En la selección de todos los componentes electrónicos, los ingenieros de LTI han hecho mucho hincapié en que estos se usen de forma óptima y se complementen de la mejor manera posible. Como resultado se ha logrado un diseño extremadamente compacto con una eficiencia alta.



Tecnología PVmaster

- **Inversor**

El elemento clave del PVmaster es su electrónica de potencia desarrollada en la empresa LTI, la cual día tras día desde hace años ha demostrado su alto nivel de calidad como convertidor de frecuencia en el sector industrial.
- **Interruptor principal**

El inversor cuenta con interruptores de potencia integrados en el lado AC y DC que permiten su sencilla desconexión según VDE 0100-712.
- **Transformador**

El transformador principal de alta eficiencia realiza la separación galvánica del lado DC respecto al lado AC. Además, se permite realizar la puesta a tierra de uno de los polos DC – tal y como se aconseja en aplicaciones con placas fotovoltaicas de capas finas.
- **Sistema de monitorización/registro**

El sistema de monitorización de estadísticas acumula de manera automática todos los datos de funcionamiento de la central fotovoltaica. Mediante el registro de parámetros de entrada y salida y de las temperaturas se realiza el análisis de funcionamiento óptimo del inversor.
- **Sistema de envío de datos**

El sistema permite enviar el archivo de registro y los valores adquiridos a través de Internet o de la red GSM. Los sucesos inesperados se notifican directamente mediante un e-mail o un SMS.
- **Protección de sobretensiones**

Las sobretensiones pueden producirse por rayos, conmutación y perturbaciones atmosféricas. Los dispositivos incorporados para la protección de sobretensiones limitan la tensión y evitan fallos.
- **Filtros**

Los filtros incorporados se combinan con una regulación eléctrica dinámica y posibilitan una corriente de red con una mejor calidad que la exigida en las normas. La distorsión de corriente THD es $< 2\%$. Ello permite que el PVmaster funcione también en redes „débiles“. Los PVmaster pueden contribuir a mejorar la calidad de la tensión de red.
- **Armario metálico autoportante**

Un armazón básico facilita la instalación y manipulación del PVmaster. Se pueden retirar las protecciones de abajo. Los orificios situados en la parte baja del armario permiten la utilización de carretillas elevadoras para la manipulación e instalación.
- **Principio Multimaster**

El PVmaster cuenta con las interfaces necesarias para interconectar varios PVmaster. Así, en días con poca radiación solar, la eficiencia de la central fotovoltaica puede aumentarse si se activan solamente los inversores necesarios.



Todo para su éxito

Tecnología de accionamiento para la automatización industrial

LUST | **LTi** | **DRIVES**

www.lt-i.com
Servosistemas y accionamientos para la automatización industrial

LEV | **i** | **TEC**

www.levitec.de
Componentes de motores y de rodamientos magnéticos para accionamientos de alta velocidad

Sistemas/componentes para el sector de energías renovables

LUST | **LTi** | **REENERGY**

www.lt-i.com
Sistemas completos para el sector de energías renovables

LUST | **LTi** | **ADATURB**

www.adaturb.de
Sistemas OCR para conversión de calor en energía eléctrica

Tecnología de microsistemas/sensores

SENS | **i** | **TEC**

www.sensitec.com
Chips para fabricación de sensores y microsistemas para la medición de parámetros físicos

LUST
HYBRID-TECHNIK

www.lust-hybrid.de
Tecnología de montaje y conexión para microsistemas

LTi REEnergy GmbH
Heinrich-Hertz-Straße 18
59423 Unna
ALEMANIA
Tel. +49-(0) 23 03-77 9-0
Fax +49-(0) 23 03-77 9-3 97
pvmaster@lt-i.com
www.lt-i.com

TriStar MPPT™ 600V Controller

World-Class Performance

Morningstar is pleased to announce the introduction of the TriStar MPPT 600V (TS-MPPT-600V) controller. Our TriStar MPPT controller family commenced production in 2009 and has since become the world's leading photovoltaic (PV) MPPT controller, operating in a myriad of off-grid industrial and residential installations around the globe.

The TS-MPPT-600V leverages our TrakStar MPPT technology and Morningstar's 20 years of power electronics engineering excellence to deliver a PV controller with the widest PV input operating voltage in the solar industry.

High-Value TS-MPPT-600V Benefits

- Delivers the industry's best-in-class power efficiency
- Uses Morningstar's patented 4-stage charging algorithm to optimize battery health
- Features extensive system networking, monitoring and communications
- Environmentally optimized and equipped with extensive electronic protections
- Offers superior lightning protection from nearby lightning-induced voltage/current spikes
- Engineered with a robust thermal and mechanical design to deliver the highest reliability and performance

Quality and Reliability

Morningstar's products are **built from the inside out** to deliver more than twice the industry average operating life.

The TS-MPPT-600V delivers high reliability and excellent performance and features:

- Robust thermal, mechanical and electrical design.
- Extensive electronic protections.
- No moving parts.
- Epoxy encapsulated components.
- Conformally coated printed circuit boards.



Features

- Wide array input voltage range: from battery voltage to 500 Vmp
- Maximum 60A continuous battery current
- Supports nominal 48 or 120 Vdc batteries
- Facilitates simple and cost-effective design and wiring and labor savings
- Enables use of existing high voltage PV for battery charging
- Passively cooled for high reliability
- Compact form factor
- Ethernet standard



TrakStar™ Technology

The TS-MPPT-600V features an advanced MPPT technology to harvest the maximum energy from the solar array's peak power point under all operating conditions. This high-speed processing sweeping methodology enables the TS-MPPT-600V to sweep from the PV open circuit voltage (Voc) to the battery voltage faster than any other similar PV controller.



Communications

Morningstar's TriStar MPPT controllers are the only PV controllers to offer open communication protocols and true Ethernet-enabled functionality.

The TS-MPPT-600V uses reliable, pre-established industry standard open communication protocols and interfaces to help reduce operational costs and to increase integration efficiencies. As a result, there are neither proprietary network hardware nor software compatibility issues to resolve nor requirement for external gateways. This enables developers to use proven and readily available code to speed development time and to decrease costs.

- Protocols: Supports MeterBus™, MODBUS™ RTU and MODBUS TCP/IP™, HTTP, SNMP v2 (for system networking and monitoring) and SMTP
- Communication Ports / Interfaces: Ethernet, EIA-485, RS-232 and MeterBus (for flexible communications)
- Data Logging

Parallel Operation

The TS-MPPT-600V was engineered to support parallel operation. Up to four TS-MPPT-600V controllers may be used in parallel to manage charging from a single solar or wind input. This enables the use of up to 15kWp of high voltage PV or wind for back up power during a grid outage.

Optimized Battery Health

Morningstar designed the TS-MPPT-600V's battery charging process to deliver long battery life and excellent system performance.

Simplified Installation and Use

The TS-MPPT-600V controller is built for easy installation, set-up and use. Self-diagnostics and electronic error protections make installation easier and minimize the chances of installation errors and system faults. It is also equipped with 8 adjustable switches to make system set-up and configuration simple. The TS-MPPT-600V's simplified installation and usability benefits include:

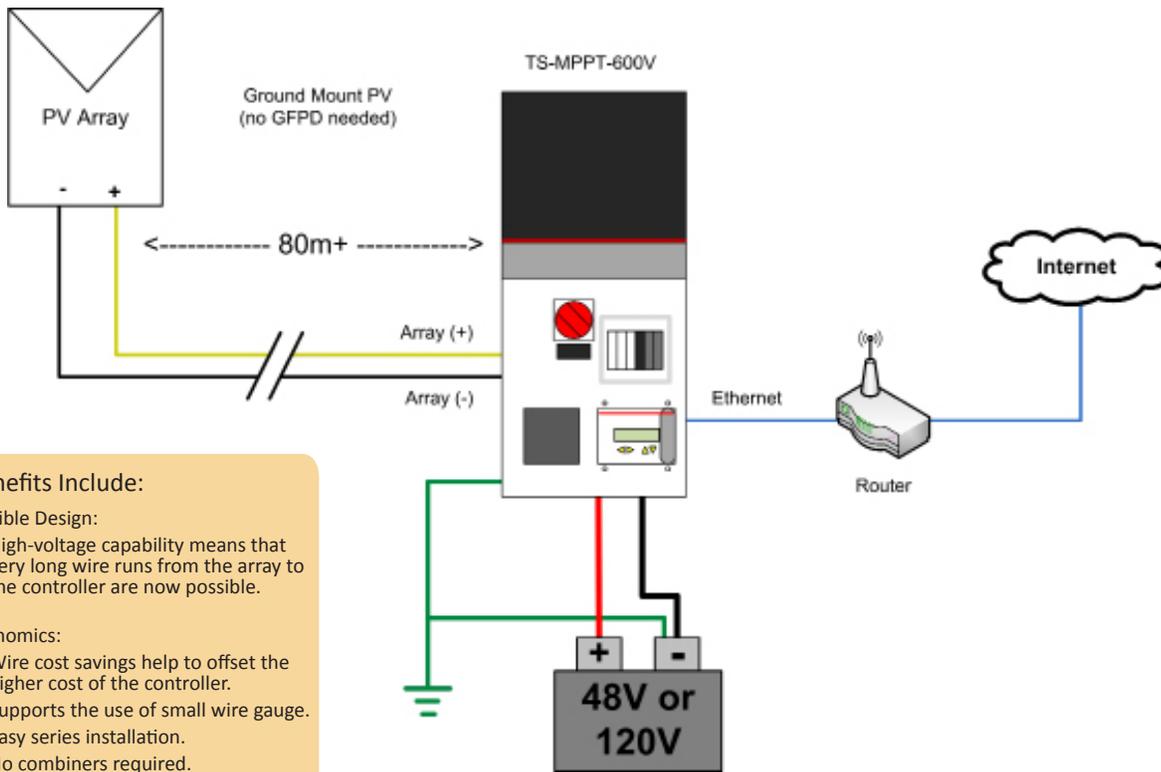
- Easy series installation.
- No combiners required.
- Wire cost savings may offset the higher cost of the controller.
- Supports the use of small wire diameter.
- Supports long wire runs.

Innovation

Morningstar's TriStar MPPT Controllers are the ideal choice for residential, industrial and small commercial installations. These products offer a highly efficient power path for charging batteries with high-voltage strings, thin film and other grid-tie PV modules. The TS-MPPT-600V uses advanced power electronics to efficiently match up to 600Voc PV to 48 or 120 Vdc battery systems. The controller's high voltage capability and flexible design enable several application scenarios including:

- Off-grid PV systems greater than 150 Voc with long wire runs from the array to the controller.
- New installation grid-tie PV systems with battery back-up.
- Retrofitting string inverter systems to later add battery back-up without changing the PV array configuration.
- Off-grid wind systems with battery back-up.

Off-grid PV systems greater than 150 Voc with long wire runs



Benefits Include:

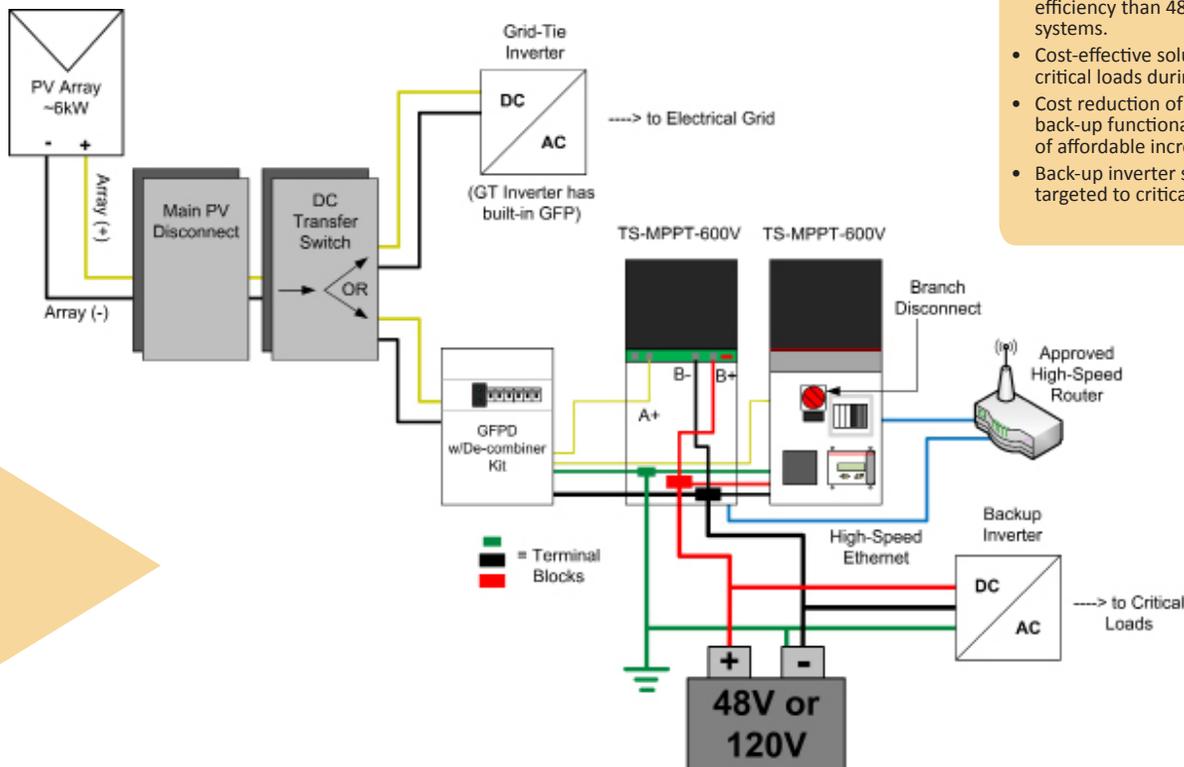
Flexible Design:

- High-voltage capability means that very long wire runs from the array to the controller are now possible.

Economics:

- Wire cost savings help to offset the higher cost of the controller.
- Supports the use of small wire gauge.
- Easy series installation.
- No combiners required.
- Supports long wire runs.

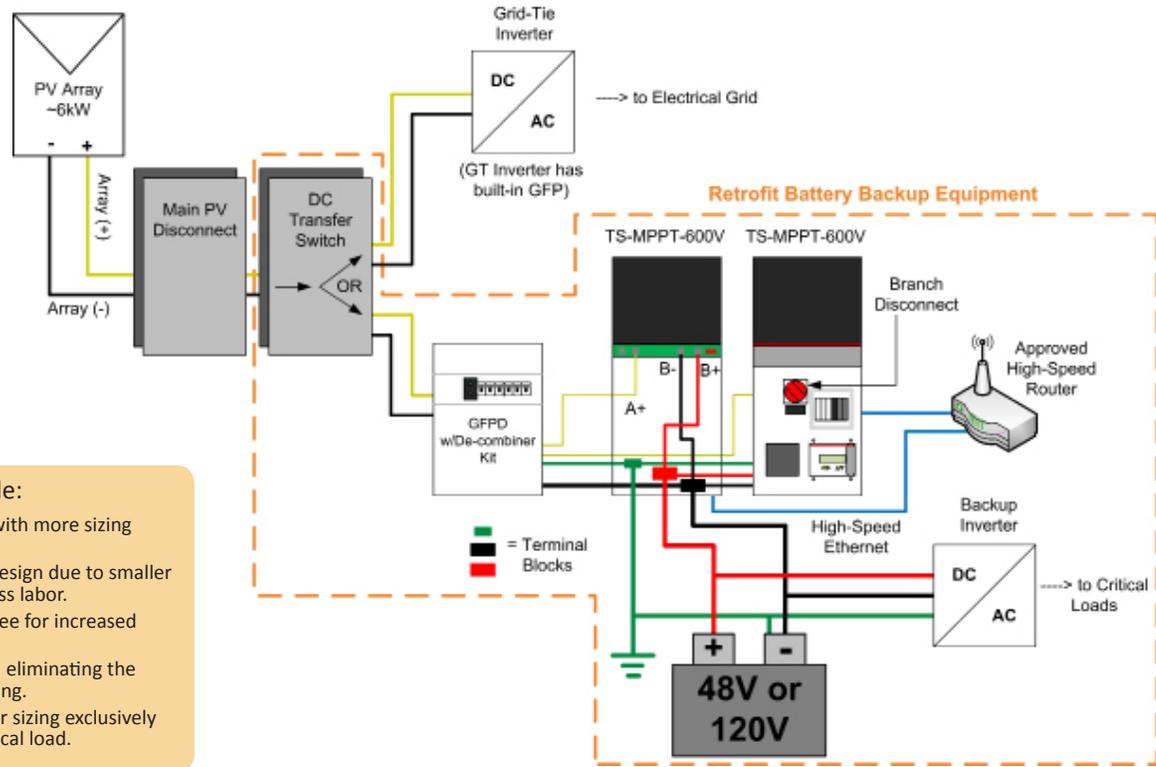
New installation grid-tie PV systems with battery back-up



Benefits Include:

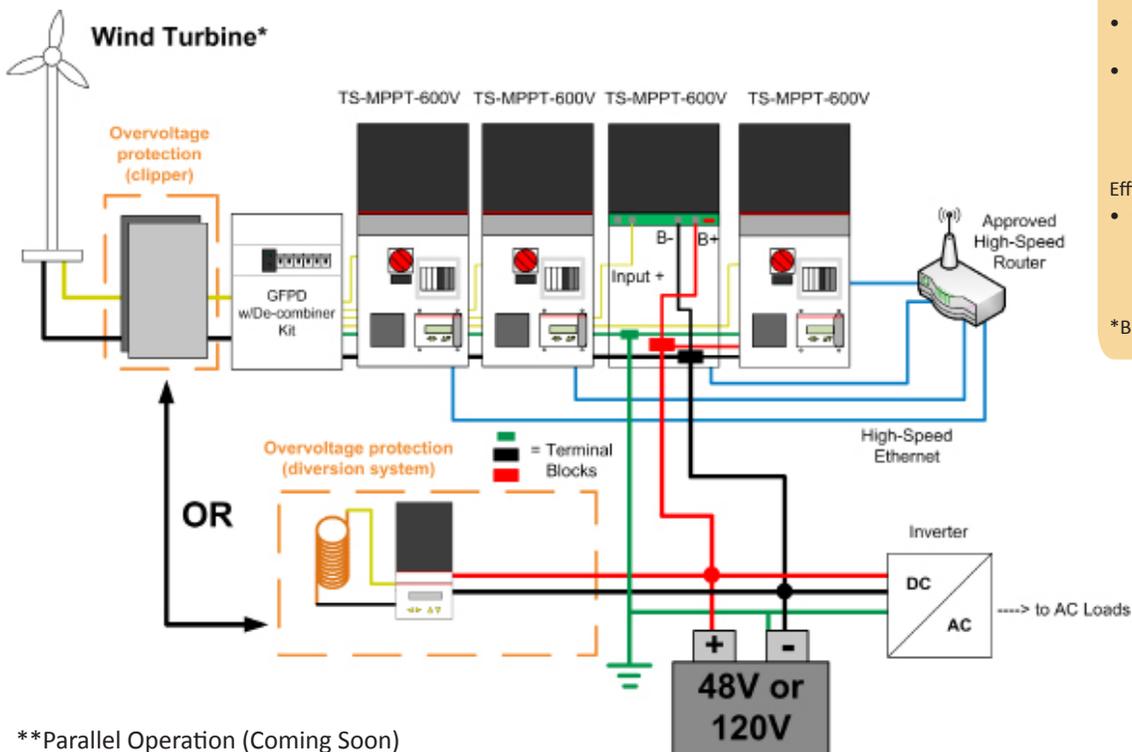
- System optimization for high voltage PV and Grid sell. Optimized for better grid-tie inverter conversion efficiency than 48V bus grid-tie systems.
- Cost-effective solution for powering critical loads during a power outage.
- Cost reduction of equipment for back-up functionality and enabling of affordable incremental capacity.
- Back-up inverter sizing exclusively targeted to critical load.

Retrofitting string inverter systems to later add battery back-up without changing the PV array configuration.



- Benefits Include:**
- Simple design with more sizing options.
 - Cost effective design due to smaller wire size and less labor.
 - Maintenance free for increased reliability.
 - Wired for 600V, eliminating the need for re-wiring.
 - Back-up inverter sizing exclusively targeted to critical load.

Off-grid wind systems with battery back-up**



- Benefits Include:**
- Cost-Effective Solution:**
- Up until now there has not been a way to use large(r) size wind turbines in off-grid installations.
 - The TS-MPPT-600V enables the use of larger off-grid wind turbines.
 - Designed for up to four controllers in parallel for a 12-15kW* wind system. Wind may output native voltages up to 600 Vdc.
- Efficiency:**
- The TS-MPPT-600V enables more efficient wind turbine operation via power curve tracking MPPT technology.
- *Based on System Load Size.

**Parallel Operation (Coming Soon)

Morningstar's TS-MPPT-600V:

- Features an advanced digital signal processor and utilizes Morningstar's patented TrakStar™ Advanced MPPT technology to harvest the maximum available energy from the solar array's peak power point within the controller's operating range.
- High-speed processing and control methodology allow sweeps from array Voc to battery voltage in less than 1/10th of a second, faster than all similar controllers.
- Uses Morningstar's patented 4-stage charging algorithm to optimize battery health.
- Features extensive system networking, monitoring and communications.
- Features extensive electronic protections and environmentally tolerant construction.
- Offers superior lightning protection from nearby voltage and current spikes.
- Engineered with a robust thermal and mechanical design to provide the highest reliability and excellent performance.



TS-MPPT-60-600V-48**TS-MPPT-60-600V-120****ELECTRICAL**

Maximum Battery Current	60A	
Maximum Input Current	15A	
Nominal Solar Input	3200Wp	TBD
Peak Efficiency	TBD (~97%)	TBD
Nominal System Voltage	48 Vdc	120 Vdc
Maximum Open Circuit Voltage	600 Vdc	
System Voltage	14 - 80 Vdc	85 - 165 Vdc
Voltage Accuracy	<= 0.1% +/- 100 mV	
Self-Consumption	1.75 - 2.5 W	
Transient Surge Protection	4500 W / port	

ELECTRONIC PROTECTIONS

Input	Overload, Short Circuit, High Voltage
Battery	High Voltage, Battery Sense Disconnected, Remote Temperature Sense Disconnected
General Operation	High Temperature, Reverse Current at Night, Lightning and Transient Surges

BATTERY CHARGING

MPPT Algorithm	TrakStar Maximum Power Point Tracking Technology
Charging Algorithm	4-Stage
Charging Stages	MPPT, Absorption, Float, Equalize
Temperature Compensation	
Coefficient	-5mV/°C/cell (25° ref)
Range	-30 °C to +80 °C -22 °F to +176 °F

MECHANICAL

Dimensions (Standard Box)	39.2 x 22.1 x 14.9 cm 15.4 x 8.7 x 5.9 in
Dimensions (BOS Box)	54.2 x 22.1 x 14.9 cm 21.4 x 8.7 x 5.9 in
Maximum Wire Size	
Power Terminals	2.5 mm ² - 35 mm ² / 14 AWG - 2 AWG
RTS/Sense Terminals	0.25 mm ² - 1.0 mm ² / 24 AWG - 16 AWG
Conduit Knockouts	M20; 1/2, 1, 1-1/4 inch (trade size)
Mounting	Vertical Surface
Enclosure Rating	Type 1 (indoor and vented)
Ingress Protection	IP20
Unit Weight	8.98 kg / 19.8 lbs.

ENVIRONMENTAL

Ambient Operating Temperature	-40 °C to +45 °C -40 °F to +113 °F
Storage Temperature	-55 °C to +100 °C -67 °F to +212 °F
Humidity	100% non-condensing

TS-MPPT-60-600V-48**TS-MPPT-60-600V-120****COMMUNICATION**

Ports	Ethernet, EIA-485, RS-232, MeterBus
Supported Protocols	MeterBus, MODBUS RTU, MODBUS TCP/IP, HTTP, SNMP v2, SMTP
Information Display	MSView™ Software, Webpage Server, Email/Text Alerts, LCD Display (optional)

CERTIFICATIONS

Manufactured in a Certified ISO 9001 Facility

CE, RoHS and REACH Compliant

U.S. National Electrical Code (NEC) Compliant

FCC Part 15 Class B Compliant

ETL Listed [Canadian ICES-003 and UL-1741 CSA C22.2 No. 107.1-01]

ACCESSORIES / OPTIONS

DC Disconnect Box (DB-1)*	YES
Ground Fault Protection Device (GFPD-600V)	YES
MeterHub™ (HUB-1)	YES
Relay Driver (RD-1)	YES
Meters (On-Board or Remote)	
Universal Meter (UM-1)	YES
TriStar™ Remote Meter-2 (TS-RM-2)	YES
Remote Temperature Sensor (RTS)**	STANDARD

* The grounded Balance-of-System box that includes a 600 Vdc PV Disconnect and 48 Vdc Battery Disconnect.

** The RTS is shipped standard with the TS-MPPT-600V, but will require installation when un-boxed.



Morningstar Corporation is a registered trademark and the Morningstar Name, the Morningstar Logo, as well as the TriStar MPPT, TriStar, MSView, MeterBus, MeterHub and TrakStar names are all the trademarks of Morningstar Corporation. MODBUS and MODBUS TCP/IP are trademarks of Modbus IDA.

© 2013 Morningstar Corporation. All rights reserved.



MORNINGSTAR
World's Leading **Solar Controllers & Inverters**

www.morningstarcorp.com/TS-MPPT-600V