

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA
SUMINISTRAR ENERGÍA ELÉCTRICA A LOS SENSORES STRAIN
GAUGES DEL POLO 51 EN EL MOLINO DE BOLAS ML601 DE LA
SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

TAYPE IGNACIO, OMAR JESÚS

ASESOR

CHÁVEZ ZUBIETA, ÁLVARO ENRIQUE

Villa El Salvador

2021

DEDICATORIA

A mis padres, Julio Cesar y Calixta, por su amor abnegado, trabajo y sacrificio en todos estos años de mi vida, gracias a ustedes he logrado cumplir mis metas y anhelos.

A mis hermanos Cesar y Luis por estar siempre conmigo y su apoyo incondicional que me brindaron en cada momento difícil.

A mis profesores que, por su ardua labor en transmitir sus conocimientos, gracias a los cuales estoy logrando cumplir mis metas profesionales.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por sus consejos y apoyo incondicional a pesar de vivir lejos de ellos por motivos laborales.

A la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur y a todos los maestros que formaron parte de mi desarrollo profesional, sus enseñanzas y experiencia han sido de mucha ayuda en mi crecimiento personal.

ÍNDICE

RESUMEN	viii
INTRODUCCION	ix
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	10
1.1. Contexto	10
1.2. Delimitacion temporal y espacial del trabajo	11
1.2.1. Temporal	11
1.2.2. Espacial.....	11
1.3. Objetivos	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. Antecedentes	12
2.2. Bases teóricas.....	14
2.2.1 Sistema solar fotovoltaico	14
2.2.1.1 Clasificación de una instalación solar fotovoltaica	14
2.2.1.2 Componentes de un Sistema Solar Fotovoltaico	16
2.2.1.3 La célula solar:	17
2.2.1.4 Potencia de la célula solar.....	20
2.2.1.5 El panel solar:.....	21
2.2.1.6 El regulador de carga	23
2.2.1.7 Acumuladores (Baterías).....	26
2.2.1.8 El inversor.....	30
2.2.1.9 Factores climatológicos relevantes en el S. Fotovoltaico.....	32
2.2.1.10 Dimensionado del Sistema Fotovoltaico.....	35
2.2.2 Sensores strain gauges:	43
2.2.2.1 Principio de funcionamiento.....	44
2.2.2.2 Unidad de medida de la deformación	44
2.2.2.3 Tipos de bandas extensométricas	45
2.3. Definición de términos básicos.....	45
3. CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL.....	47
3.1. Determinación y análisis del problema.....	47
3.2. Modelo de solución propuesto	48
3.2.1. Cálculo de la demanda de energía eléctrica.....	49
3.2.2. Cálculo de la irradiación solar y hora solar pico.....	52
3.2.3. Dimensionamiento de los componentes eléctricos	61

3.3. Resultados	65
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	75
ANEXOS	77

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Instalación solar fotovoltaica autónoma	15
Figura 2: Componentes de la instalación solar fotovoltaica	17
Figura 3: Estructura de la célula solar	18
Figura 4: Asociación de células solares.....	21
Figura 5: Constitución de un panel solar	23
Figura 6: Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica.....	24
Figura 7: Esquema de conexión del regulador en la instalación.	26
Figura 8: Modelos de baterías de plomo - ácido	29
Figura 9: Esquema general de una instalación autónoma con inversor	30
Figura 10: Esquema de una instalación conectada a la red con inversor	31
Figura 11: Irradiancia a lo largo del día.	33
Figura 12: Diseño de banda extensiométrica con rejilla de medición de hilo	43
Figura 13: Aspecto de una galga extensiométrica actual, con material conductor depositado sobre un soporte plástico, por ejemplo, una poliamida.	44
Figura 14: Mantenimiento en las conexiones del polo al molino ML 601.	47
Figura 15. Esquema del sensor strain Gauge triaxial tipo roseta	49
Figura 16. Esquema del transmisor inalámbrico V-Link 200	50
Figura 17: Ubicación geográfica de los molinos de bolas ML601 en C2.....	53
Figura 18: Página principal "POWER DATA ACCESS VIEWER"	54
Figura 19: Selección de comunidad de usuarios.....	54
Figura 20: Selección del promedio temporal	55
Figura 21: Ingreso de las coordenadas a la aplicación	55
Figura 22: Selección del periodo de evaluación	56
Figura 23: Selección de formato para extracción de archivos	56
Figura 24: Selección de parámetros de estudio	57
Figura 25: Descarga de documento con datos de estudio	58
Figura 26: Resultados de los parámetros seleccionados en la aplicación "POWER DATA ACCESS VIEWER"	59
Figura 27. Esquema general del sistema solar fotovoltaico.	72

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Características de los principales tipo de baterías	29
Tabla 2: Características eléctricas del sistema de medicion Strain Gauge	52
Tabla 3: Descripción del panel solar	62
Tabla 4: Características de los Sensores Strain Gauges	65
Tabla 5: Características de los Transmisores Inalambricos	65
Tabla 6: Cálculo de la demanda eléctrica del sistema de medicion strain	66
Tabla 7: Irradiación solar en el molino ML601 enero hasta junio 2020	68
Tabla 8: Irradiación solar en el molino ML601 julio hasta diciembre 2020	68
Tabla 9: Dimensionado de componentes electricos para el SFV	70
Tabla 10: Descripción de la batería	71
Tabla 11: Descripción del panel solar	71
Tabla 12: Descripción del regulador de carga	72

RESUMEN

El presente informe de Suficiencia Profesional para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico y Eléctrico se realizó en el departamento de Arequipa en la compañía minera Sociedad Minera Cerro Verde SAA.

En la evaluación parte del mantenimiento de la planta concentradora 2 se observó que en el polo 51 del molino de bolas ML601 existe un desgaste crítico por el mismo esfuerzo en la operación del molino, por ello se realizará la instalación de sensores strain gauges en el polo 51 del molino ML601 de la planta concentradora 2, pero los transmisores inalámbricos que se utilizarán para recopilar y transferir los datos que brindarán los sensores strain gauges requieren de suministro de energía eléctrica DC constante y actualmente los transmisores son alimentados por pilas, estas poseen la desventaja de tener una capacidad limitada de suministro de energía eléctrica, entonces requiere su cambio cada cierto tiempo y realizar ese cambio en pleno funcionamiento del molino de bolas ML601 requiere tomar medidas de seguridad correspondientes, por ello con la finalidad de evitar que se detenga el proceso de molienda en el molino de bolas ML601 para el cambio de estas pilas por otras pilas recargadas se diseñará un sistema fotovoltaico que consta de una batería, controladores solares, una conexión de carga y 12 módulos solares instalados sobre soportes en la zona de pernos del anillo 4 sobre el revestimiento del molino de bolas ML601 de la Planta Concentradora 2.

Finalizado el diseño del sistema fotovoltaico al implementarlo cumplirá con su función principal, que es suministrar energía eléctrica de manera incesante a los transmisores que se utilizan para brindan las señales de los sensores strain gauges y esto detallé los datos que se requieren para realizar las respectivas evaluaciones del comportamiento de elasticidad y rigidez en el polo 51 del molino de bolas ML601 de la planta concentradora 2 en SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE SAA.

INTRODUCCIÓN

El yacimiento minero Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. está comprendido por dos tajos: Cerro Verde y Santa Rosa. La minera en su ámbito laboral realiza sus funciones y procedimientos de la manera más eficiente, siendo responsable con el medio ambiente, reduciendo el impacto ambiental negativo y preservando los recursos naturales; contribuyendo con la sociedad y brindando un ambiente seguro para trabajar a todos sus colaboradores.

El proceso productivo de molienda dentro de la planta es la primera etapa del procesamiento del material. Por ello la molienda como parte importante del proceso de la compañía minera detener su funcionamiento generaría pérdidas económicas y retraso en la extracción del material final.

De esta manera, el presente trabajo tiene por objetivo el diseño de un sistema fotovoltaico que al implementarlo suministre energía a los transmisores inalámbricos de los sensores strain gauges para medición de esfuerzos en el polo 51 del molino ML601 y así evitar detener el proceso de molienda por cambios en el suministro de energía, además de tener en cuenta que la energía solar es una fuente de energía inagotable, su utilización es económica, segura y también confiable.

Se espera que este trabajo sea tomado como antecedente para futuras evaluaciones y sirva de modelo para la implementación de un sistema fotovoltaico en el molino de bolas para suministrar energía DC de manera inagotable y segura.

En el primer capítulo se presentará los aspectos generales del trabajo, en el segundo capítulo tomamos los antecedentes y el marco teórico; en el tercer capítulo se describe el diseño del sistema fotovoltaico para el molino de bolas ML601. Finalmente se redacta las conclusiones, recomendaciones y se describe la referencia bibliográfica utilizada

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Contexto

La empresa SELIN S.R.L. es una empresa contratista dedicada a la prestación de servicios complementarios en el sector minero, industrial en instalación, acondicionamiento, mantenimiento y reparación de circuitos eléctricos, de cabinas de equipos pesados con calefacción y aire acondicionado, instalación de líneas troncales de tuberías HDPE para el sistema de drenaje, montaje y desmontaje de subestaciones eléctricas y tendido de líneas eléctricas aéreas de media y alta tensión. En la actualidad la empresa SELIN S.R.L. brinda sus servicios dentro de diversas unidades mineras como: Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A, Compañía Minera Antapaccay S.A., Unidad Minera las Bambas, minera Cuajone, minera Toquepala, entre otras.

SELIN S.R.L. viene realizando específicamente trabajos de mantenimiento eléctrico e instrumental dentro de las instalaciones de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. El propósito del servicio que brinda SELIN S.R.L. en SMCV consiste en prever posibles fallas que puedan producir en un futuro la parada de planta o un accidente afectando a personas e instalaciones, permitiendo la reducción de los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de salidas de servicio imprevistas y logrando que los equipos funcionen ininterrumpidamente con gran eficiencia.

El problema en la minera Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. se presenta finalizada la instalación de sensores strain gauges en el polo 51 del molino de bolas ML601 en planta concentradora 2. Estos sensores strain gauges habitualmente son alimentados por pilas (4 x AA 3.6V LiSOCL2), su desventaja es que su capacidad de suministro de energía eléctrica es limitada y realizar el cambio de estas pilas cada cierto periodo implica detener el proceso de moliendo por ende se afectaría enormemente la producción minera, es por ello que necesita que se reemplace el componente que suministra energía eléctrica a otro que sea inagotable y se desarrolle sin tener la necesidad de detener la producción a través del tiempo.

1.2. Delimitación temporal y espacial del trabajo

1.2.1. Temporal

El presente trabajo de suficiencia profesional comprende el periodo del 28 de agosto al 18 de diciembre del 2021.

1.2.2. Espacial

El trabajo se desarrolló en la compañía minera Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., provincia de Arequipa en el departamento de Arequipa.

1.3. Objetivos

O1. Calcular la demanda de energía eléctrica para el diseño de un sistema solar fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a los sensores strain gauges del polo 51 en el molino de bolas ML601 de la sociedad minera cerro verde s.a.a.

O2. Calcular la irradiación solar y hora solar pico mediante los mapas de radiación solar para el diseño de un sistema solar fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a los sensores strain gauges del polo 51 en el molino de bolas ML601 de la sociedad minera cerro verde s.a.a.

O3. Dimensionar los componentes eléctricos para el diseño de un sistema solar fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a los sensores strain gauges del polo 51 en el molino de bolas ML601 de la sociedad minera cerro verde s.a.a.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Nacionales

En la tesis de López, Y. (2019). Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para la electrificación de las estaciones base celular de la empresa viettel Perú s.a.c”, en zonas rurales de la provincia de Huancayo, 2019. Concluye que los impactos ambientales producidos por la implementación de un sistema fotovoltaico son minúsculos en comparación a los ocasionados por un sistema convencional de redes. Además, que el diseño y dimensionamiento correcto de los equipos a ser utilizados por nuestro sistema, depende principalmente de dos factores los cuales son: El análisis de consumo de energía diaria, y datos de la radiación solar incidente.

En la tesis de Marcelo, E. (2019). Propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico para reducir costos de energía en la caseta de bombeo de agua potable de la Universidad Nacional de Piura. Concluye que desde el punto de vista técnico se puede decir que no existe ninguna problema o inviabilidad para la instalación, puesta en funcionamiento y operación de un sistema solar fotovoltaico de pequeña escala, ya que tanto la tecnología como el recurso solar están disponibles para su implantación. Recomienda que a los jóvenes profesionales en ingeniería dejarse influir por los modelos de generación energética convencionales, los que originan grandes inversiones y lo que es peor altos niveles de contaminación, razón por la cual deben considerar sistemas integrales de soluciones incluyendo en sus proyectos soluciones sostenibles e innovadoras cuidando el ambiente en que vivimos.

En la tesis de Preciado, C. y Saldaña, S. (2015). Diseño de un Sistema Fotovoltaico Autónomo centralizado de generación eléctrica en el caserío Briceño, distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque. Determinó que el uso de la energía renovable solar, ya que el caserío cuenta con una radiación promedio anual de 5.5 a 6 kWh/m² (datos brindados por el SENAMHI); lo cual hace

que el proyecto sea muy viable para su desarrollo, ya que ayudaremos a obtener energía eléctrica a la población y por lo tanto al usar energía renovable en este caso energía solar, estaríamos ayudando al medio ambiente ya que no se utilizaran ningún combustible fósil para la generación de energía eléctrica y por ende no habrá ningún tipo de contaminación ambiental.

Internacionales

En la tesis de Fernández, L. y Cervantes, A. (2017). Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira. Indica en su introducción que el uso de las energías renovables se ha vuelto cada vez más amplio debido a la cultura de optimizar recursos y disminuir los contaminantes, lo que provoca la necesidad de establecer proyectos en los cuales se aporte información que conlleve a un mejor funcionamiento o implantación de este tipo de sistemas.

En la tesis de Villegas, E. y Alcívar, L. (2020). Diseño de un sistema fotovoltaico para la escuela de educación básica Simón Bolívar en la comunidad Masa 2, Golfo de Guayaquil. Manifiestan los autores que, la base de datos online PVGIS se usa para calcular cuanta energía puede obtener de diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos en casi cualquier lugar del mundo, proporcionando acceso al potencial fotovoltaico para diferentes tecnologías y configuraciones de sistemas conectados a la red e independientes. Obteniendo como radiación solar y temperatura como promedio mensual.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Sistema solar fotovoltaico

Es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica. Estos sistemas independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden clasificar. (Méndez, J. y Cuervo, R., 2007, p.37).

2.2.1.1 Clasificación de una instalación solar fotovoltaica

La clasificación de las instalaciones solares fotovoltaicas (ISF) la podemos realizar en función de la aplicación a las que están destinadas. Así, distinguiremos entre aplicaciones autónomas y aplicaciones conectadas a la red. (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.10)

A. Aplicaciones autónomas

Según Díaz y Carmona (p.10), en este tipo se produce energía eléctrica sin ningún enlace a la red eléctrica, con el motivo de suministrar este tipo de energía al lugar donde se encuentren.

En la siguiente figura N°1 nos muestra una instalación solar que es autosuficiente; la vivienda no tiene que estar conectada a la red, produciendo por si sola la electricidad necesaria para su consumo.

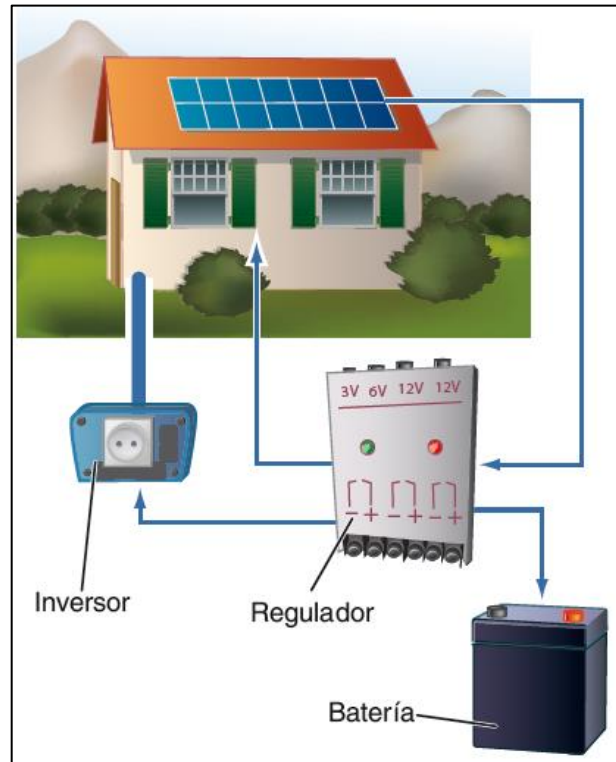


Figura 1: Instalación solar fotovoltaica autónoma
Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.9)

- Según Díaz y Carmona (p.10) indica que esta modalidad se utiliza para proporcionar electricidad, como satélites de información, etc.
- Según Díaz y Carmona (p.10), indica que estos medios terrestres, las que resaltan son:
 - Telecomunicaciones
 - Electrificación de zonas rurales y aisladas
 - Señalización
 - Alumbrado público

- (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.11) Bombeo de agua: estas conexiones están tramadas para sitios como ganadería, ranchos, etc. Realizándose en cualquier lugar.

- Redes VSAT: señales privadas de información (para una empresa, un organismo oficial, etc.) que se accionan mediante un satélite.

- Telemetría: Deja producir medidas sobre variables físicas y transportar los datos a una central.

2.2.1.2 Componentes de un Sistema Solar Fotovoltaico

Según Méndez y Cuervo (p.38) indican que hay diferentes opciones para construir un sistema fotovoltaico, pero esencialmente hay los siguientes componentes:

- Generador fotovoltaico: encargado de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos.

- Baterías o acumuladores: almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico para poder utilizarla en periodos en los que la demanda exceda la capacidad de producción del generador fotovoltaico.

- Regulador de carga: encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de la carga de la batería y evitar las sobretensiones que puedan destruirla.

- Inversor o acondicionador de la energía eléctrica: encargado de transformar la corriente continua producida por el

generador fotovoltaico en corriente alterna, necesaria para alimentar algunas cargas o para introducir la energía producida en la red de distribución eléctrica.

- Elementos de protección de circuito: como interruptores de desconexión, diodos de bloqueo, etc., dispuestos entre elementos del sistema para proteger la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o situaciones de sobrecarga.

En la siguiente figura N°2 nos muestra los componentes que son parte importante dentro de un sistema solar fotovoltaico.

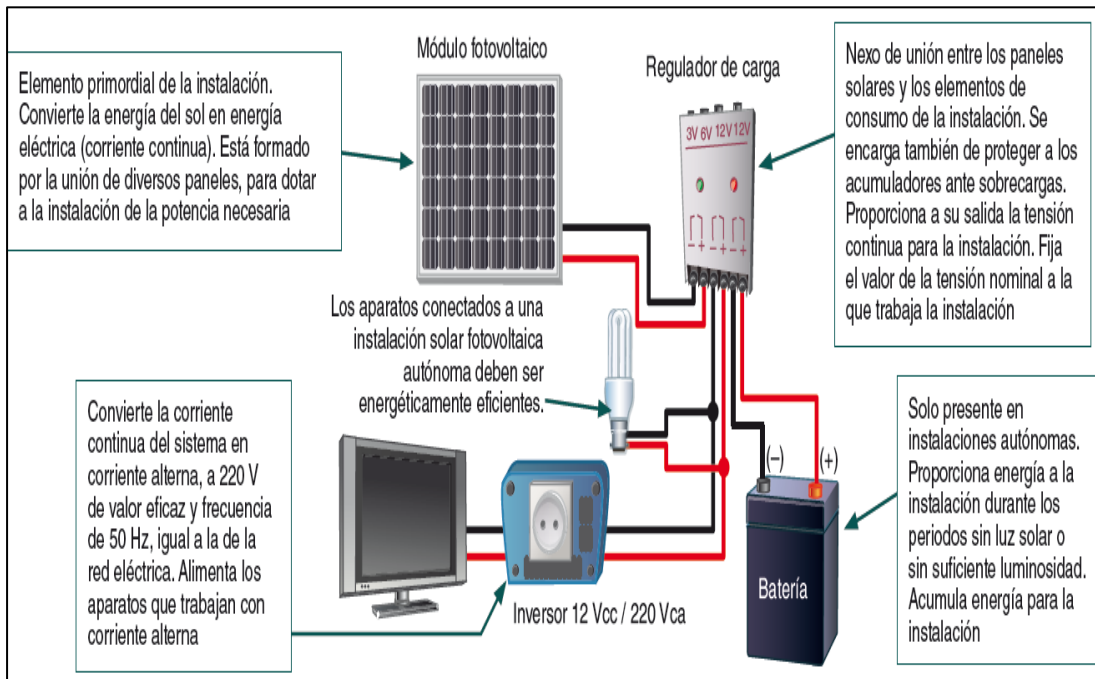


Figura 2: Componentes de la instalación solar fotovoltaica
Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.12)

2.2.1.3 La célula solar:

Según Díaz y Carmona (p.12), muestra que lo principal de cualquier conexión de energía del sol es el autor que obtiene el

nombre de célula solar. Identificado por transformar en energía eléctrica los fotones que llegan del sol.

Se desarrolla como una parte de diodo: la parte superior a la radiación solar es el tipo N, y la pieza ubicada en la posición de oscuridad, el tipo P. Los terminales de las celdas se encuentran en cada una de estas secciones del diodo: la cara correspondiente a la región P es enteramente metálica (no tiene por qué recibir luz), mientras que en la región N la cara está metalizada en forma de peine, permitiendo el paso de la luz solar. radiación para llegar al semiconductor.

En la siguiente figura N°3 nos muestra la estructura de la célula solar, indicando los semiconductores tipo N y P en una vista a gran escala.

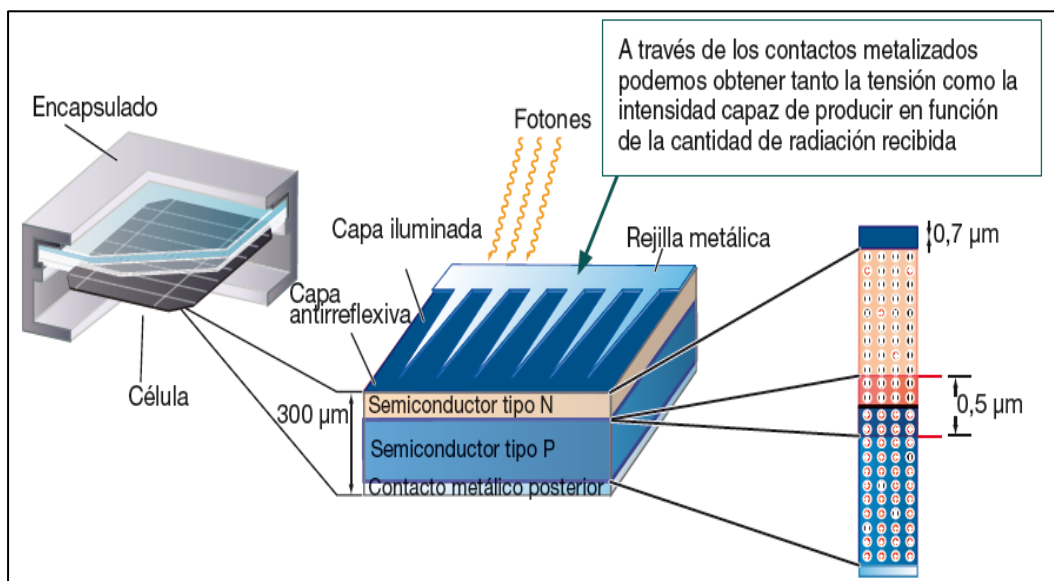


Figura 3: Estructura de la célula solar
Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.12)

- **Parámetros fundamentales de la célula solar**

Según Díaz y Carmona (p.13), menciona que los características fundamentales para la célula solar son:

- Corriente de iluminación (I_L): la corriente producida cuando coincide la radiación solar.
- Corriente de oscuridad: consecuente a la transformación de los pares electro-hueco que se elabora en el interior del semiconductor.
- Tensión de circuito abierto (V_{OC}): la mayor tensión que se obtiene en las esquinas de la célula solar, cuando no está unida a ninguna carga. Es una virtud del material con el que está construida la célula.
- Corriente de cortocircuito (I_{SC}): mayor valor de corriente que puede traspasar por la célula solar. Ocurre cuando sus terminales están cortocircuitados.
- Cuando la célula del sol es unida a una carga, los datos numéricos de tensión e intensidad cambian. Hay dos de ellos para los cuales la potencia entregada sea máxima: V_m (tensión max.) e I_m (intensidad máx.), son menores que V_{OC} e I_{SC} . En relación de estos valores, la potencia máx. que puede otorgar la célula solar será:

$$\boxed{P_m = V_m * I_m} \quad (1)$$

Donde:

- P_m = Potencia máxima.
- V_m = Tensión máxima.
- I_m = Intensidad máxima.

Definimos una característica de la célula del sol que tiene el nombre de factor de forma (FF) y que se examina mediante la fórmula:

$$FF = \frac{V_m * I_m}{V_{OC} * I_{SC}} \quad (2)$$

Donde:

- FF = Factor de forma
- V_m = Tensión máxima.
- I_m = Intensidad máxima
- V_{OC} = Tensión de circuito abierto
- I_{SC} = Corriente de cortocircuito

El factor de forma es el cociente entre la máx. potencia que puede recibir la célula del sol a la carga y la multiplicación de la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. En las células solares más comunes, los datos típicos de FF son 0,7 o 0,8.

2.2.1.4 Potencia de la célula solar

De acuerdo a Diaz y Carmona (p.15), indica que la potencia que otorga una célula de altura estándar (10x10cm) es muy chica en torno a 1 o 2W, por ello casi siempre será necesario tener que unir varias de ellas con el propósito de entregar la potencia requerida al sistema fotovoltaico.

Según la conexión eléctrica que hagamos de las células, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades:

- ✓ Conexión en serie: Dejara aumentar la tensión final en los extremos de la célula semejante.
- ✓ Conexión en paralelo: Dejara subir la intensidad total del conjunto.

Los elementos unidos en serie todos tienen igual corriente, mientras que los elementos socios en paralelo tienen igual tensión.

En la siguiente figura N°4 nos muestra que, el tipo de conexión de las células solares se debe hacer de acuerdo a la demanda de la carga que queremos alimentar, si necesitamos aumentar la tensión, las uniremos en serie; si lo que queremos es aumentar la corriente, haremos la asociación en paralelo.

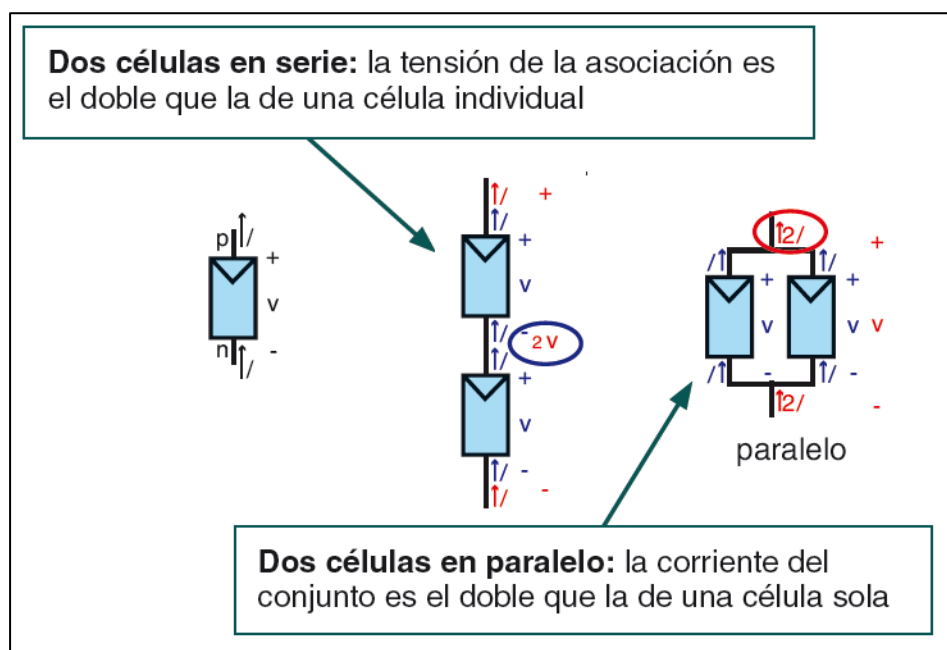


Figura 4: Asociación de celular solares
Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.15).

2.2.1.5 El panel solar:

Según Díaz y Carmona (p.14), menciona que el panel solar es mencionado también como modulo fotovoltaico, está compuesto por un grupo de células, unidas eléctricamente y instaladas sobre una estructura de soporte. Otorga en su escape de conexión una tensión continua, y se configura para valores concretos de tensión (6V, 12V, 24V...), que nombraran la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico. Sus principales características son:

- El soporte otorga una rigidez estructural correcta, con vistas a la instalación del módulo.
- Los cables de unión del panel se ubican en una caja en la parte posterior de este.
- El marco del panel dejara que el montaje sea sobre una determinada soporteria.
- El vidrio que envuelve el panel funciona como protección para las células solares antes los desastres atmosféricos.
- Su forma encapsulada cubre al módulo de la naturaleza; es vital que el módulo este cubierto frente a la abrasión, la humedad, y los rayos UV.
- El conexionado del panel es rápido y fácil. Las células solares que conforman el panel van unidas entre sí. Su unión desde el punto de vista eléctrico entrega el nivel correcto de tensión e intensidad para el que ha sido fabricado el panel solar.

Según Diaz y Carmona (p.14), menciona que los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de diseño de la célula, y son fundamentalmente:

- ✓ Silicio monocristalino: Son típicos los azules equivalentes y la unión de las células individuales entre sí. Se consigue de silicio puro fundido y dopado con boro. Tienen una efectividad directo de 15 – 18 % y en laboratorio de 24%.
- ✓ Silicio policristalino: La parte superior está constituida en cristales y tiene distintos tonos azules. Como monocristalino, pero se disminuye el número de fase de cristalización. Tiene una efectividad directo de 12 -14% y en laboratorio de 19 – 20%.

- ✓ Silicio amorfo: Tiene un color homogéneo(marrón), pero no existe unión a siempre vista entre las células. Su ventaja de depositarse en clase de lámina delgada y encima un sustrato como vidrio. Tiene una efectividad directa de <10% y en laboratorio de 16%.

La siguiente figura N°5 nos muestra la constitución del panel solar donde destacan sus principales características tanto como el encapsulado y su estilo de conexionado.

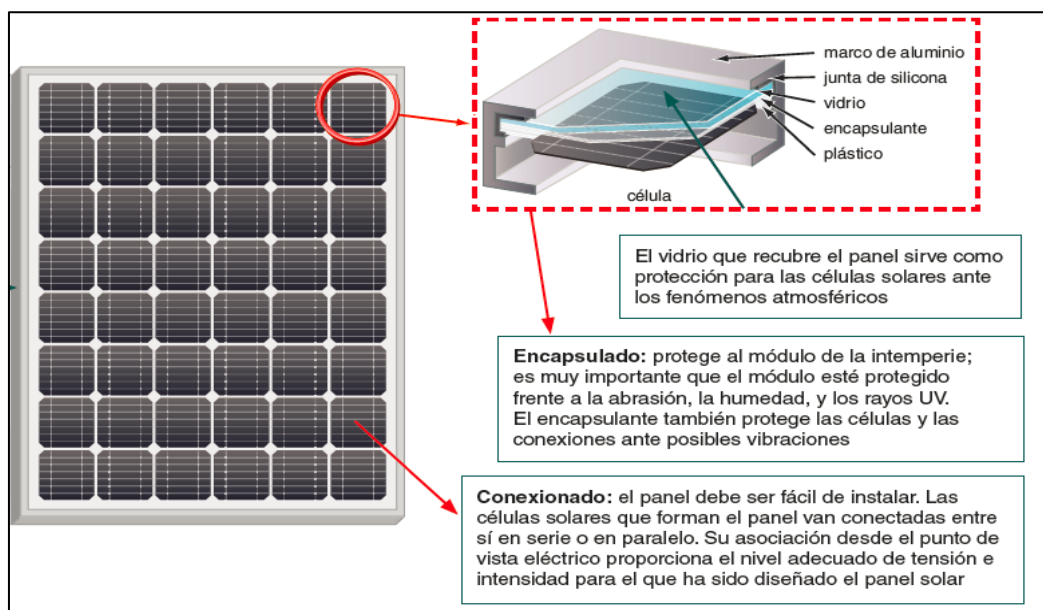


Figura 5: Constitución de un panel solar
Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.14).

2.2.1.6 El regulador de carga

Es un dispositivo destinado a proteger las baterías tanto de los excesos de carga desde los paneles como de los de descarga por el consumo de los receptores que provocan una disminución de su vida útil (Baselga, M., 2019, p.40).

Según Diaz y Carmona (p.19), nos dice que, para el adecuado funcionamiento del montaje, hay que conectar un sistema de medición de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este componente obtiene el nombre de regulador y tiene como

función no permitir situaciones de carga y sobre descarga de la batería, con la finalidad de alargar su tiempo útil.

El regulador se desempeña por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su función es la de asegurar una carga adecuada al acumulador y no permitir los momentos de sobrecarga, y en la parte de descarga se desempeñará de asegurar el suministro eléctrico útil diario y no permitir la descarga excesiva de la batería.

En la siguiente figura N°6 nos muestra la conexión del regular de carga dentro del sistema fotovoltaico, que se encuentra entre la zona de carga y zona de descarga para cumplir su función de forma adecuada.

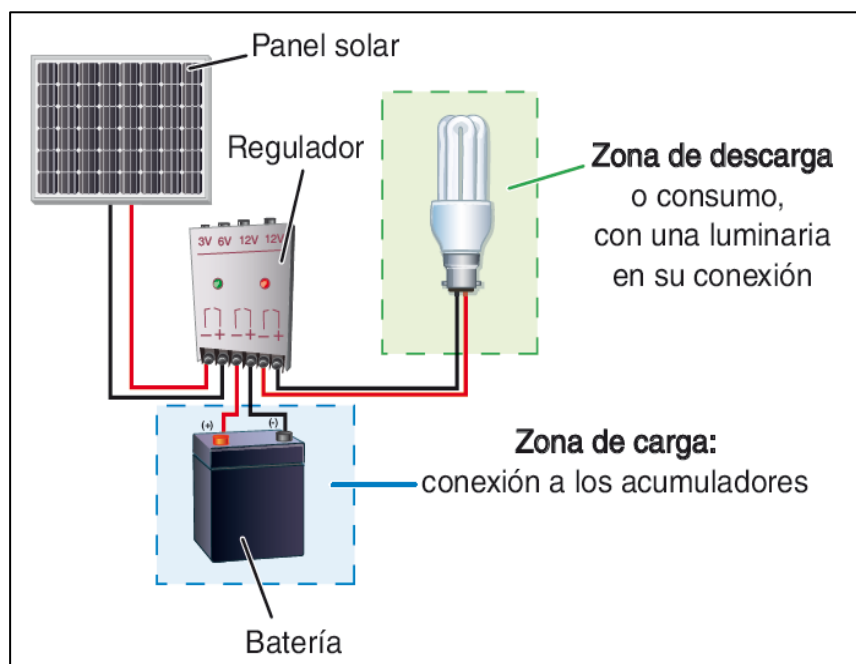


Figura 6: Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica
Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.19).

Los módulos solares cuentan con una tensión nominal mayor que la de la batería, si no hubiera regulador se podrían ocurrir sobrecargas. La razón de esta tensión nominal de los paneles sea así se debe principalmente a dos razones: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.19).

- Retener posibles disminuciones de tensión por el incremento de la temperatura.
- Afianzar la carga adecuada de la batería. La tensión V_{OC} del panel siempre será mayor que la tensión nominal de la batería.

Según Diaz y Carmona (p.19), indica que el dimensionado de la conexión solar se hace de manera que se asegure el suministro de energía en las malas condiciones de luminosidad del sol. Por ello se toman como referencia los valores de irradiación en invierno. Esto puede producir que en verano la energía entregada por los módulos solares sea en situaciones casi el doble de los cálculos estimados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, el exceso de corriente podría llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el temor que ello conlleva.

Los fabricantes nos otorgaran los valores de trabajo del regulador sobre una hoja de características. En estas hojas estarán: Características físicas del regulador, características eléctricas y normas de seguridad que se entreguen.

El regulador debe cuidar la instalación como a los encargados que lo manejen, por lo que deberá contar con sistemas que proporcionen los controles de seguridad correctas para cada uno de los casos.

Según Diaz y Carmona (p.20), indica que en los libros se nos enseña la forma de regulación que lleva, el tipo de batería que podemos conectar a la salida del equipo, también las alarmas que entrega ante un error de funcionamiento.

En la siguiente figura N°7 nos muestra el esquema de conexión del regulador en un sistema fotovoltaico acoplado con un inversor, este

dispositivo eléctrico (inversor) va conectado directo a la batería, ya que el regulador solo puede brindar tensión en corriente continua.

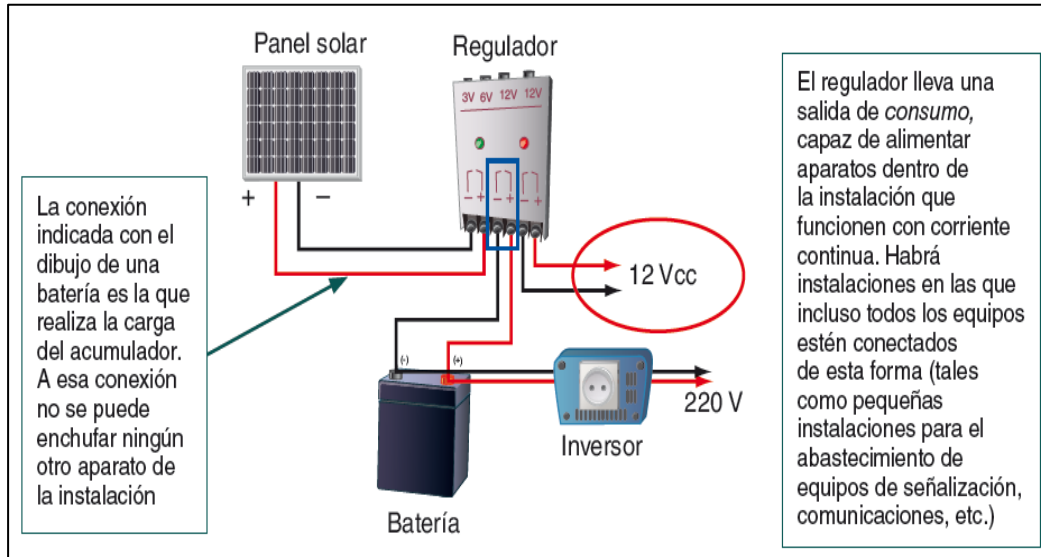


Figura 7: Esquema de conexión del regulador en la instalación.
Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.20).

2.2.1.7 Acumuladores (Baterías)

Según Díaz y Carmona (p.21), menciona que las baterías son aparatos que pueden de convertir la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una conexión fotovoltaica será el siguiente:

Energía eléctrica → Energía química → Energía eléctrica
(generación) (almacenamiento) (consumo)

Las baterías son llenadas desde la electricidad elaborada por los paneles solares, a través de un medidor de carga, y pueden ofrecer su energía a la salida de la instalación, donde será terminada.

Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Según Díaz y Carmona (p.21), menciona que uno de las características más importantes que debemos tener en cuenta a la hora de escoger una batería es la capacidad. Se describe como la cantidad de electricidad que puede conseguir en una descarga completa de la batería partiendo de un estado de carga total del mismo. Se traza en amperios hora (Ah), y se resulta como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando.

$$C = t * I \quad (3)$$

Donde:

C = Capacidad de batería (Ah)

t = Tiempo de uso (h)

I = Intensidad de descarga (A)

Según Díaz y Carmona (p.21), menciona que además de la capacidad, debemos considerar otros parámetros en las baterías que vamos a utilizar en las instalaciones fotovoltaicas:

✓ Eficiencia de carga: relación entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Interesa que sea un valor lo más alto posible. Si la eficiencia es baja, será necesario aumentar cantidad de paneles solares para obtener los resultados deseados.

✓ Autodescarga: proceso mediante el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse. (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.22).

✓ Profundidad de descarga: cantidad de energía, en tanto por ciento, que se obtiene de la batería durante una determinada descarga, partiendo del acumulador totalmente cargado. Está relacionada con la duración o vida útil de la batería. Si los tiempos de descargas son cortos, la duración del dispositivo eléctrico será grande que si se les somete a descargas tremendas.

Además de los parámetros eléctricos, las características que serían deseables para las baterías a utilizar en las instalaciones solares son:

- Gran resistencia al ciclado
- Mínimo mantenimiento
- Alto funcionamiento con corrientes pequeñas.
- Larga reserva de electrolito.
- Almacén para materiales desprendidos.
- Depósitos transparentes.

- **Tipos de baterías**

Según Diaz y Carmona (p.22), menciona que las baterías se clasifican en función tecnológica de montaje y de los electrolitos que se usan. En la tabla 1 Podemos comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado a través de sus características básicas.

En la siguiente tabla N°1 nos muestra las características principales que tiene cada tipo de batería, sea por tensión por vaso, tiempo de recarga, autodescarga por mes, n° de ciclos y capacidad.

Tabla 1**Características de los principales tipos de baterías**

Tipo de batería	Tensión por vaso	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	Nº de ciclos	Capacidad (por tamaño)
Plomo-acido	2	8 – 16 horas	<5 %	Medio	30 – 50 Wh/kg
Ni – Cd	1,2	1 hora	20%	Elevado	50 – 80 Wh/kg
Ni – Mh	1,2	2- 4 horas	20%	Medio	60 – 120 Wh/kg
Ion litio	3,6	2-4 horas	6%	Medio	110 – 160 Wh/kg

Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.22).

Los mas pedidos en las conexiones solares son las de plomo – acido, por sus parámetros que presentan. Dentro de este tipo de baterías nos podemos ubicar diferentes modelos. (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.23)

La siguiente figura N°8 nos muestra diferentes modelos de baterías de plomo - acido que se utilizan en la practicas, con las ventajas e inconvenientes que pueden presentar.





TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclado profundo. • Tiempos de vida largos. • Reserva de sedimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio elevado. • Disponibilidad escasa en determinados lugares. 	
Arranque (SLI, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> • Precio. • Disponibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. • Tiempo de vida corto. • Escasa reserva de electrolito. 	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricación similar a SLI. • Amplia reserva de electrolito. • Buen funcionamiento en ciclados medios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de vida medios. • No recomendada para ciclados profundos y prolongados. 	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> • Escaso mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V-I. 	

Figura 8: Modelos de baterías de plomo - acido

Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.23)

2.2.1.8 El inversor

Es un dispositivo electrónico que sirve para adaptar los niveles y tipos de tensión entre el sistema de acumulación y los receptores. El más habitual es el inversor, que transforma la tensión continua de los acumuladores de 12 o 24v a tensión alterna senoidal de 230 V, apta para los receptores habituales (Baselga, M., 2019, p.40).

Es un objeto de mucha importancia en las instalaciones conectadas a red, también en aquellas seleccionadas a la electrificación de viviendas. (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.24).

En la figura N°9 nos muestra un esquema general de una instalación de un sistema fotovoltaico autónomo que va acoplado con un inversor para una vivienda independiente.

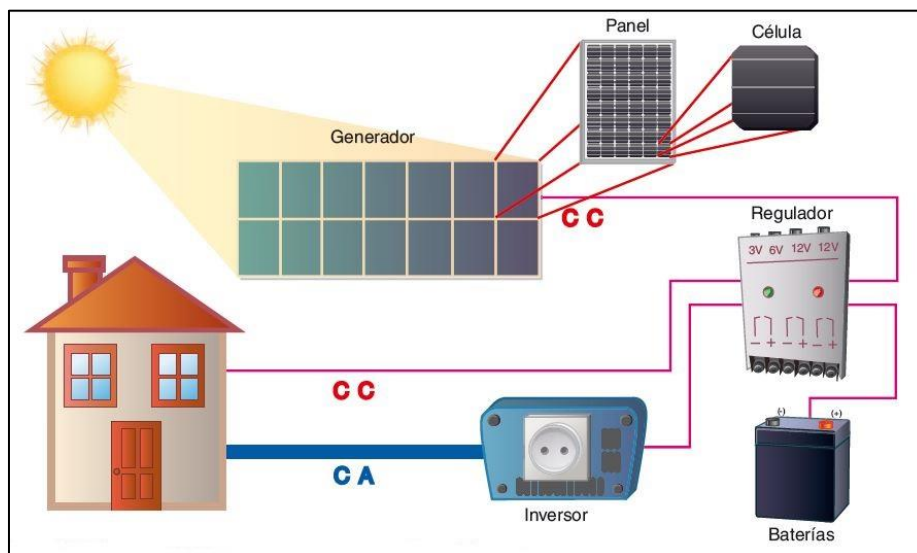


Figura 9: Esquema general de una instalación autónoma con inversor
Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.24).

En la siguiente figura N°10 nos muestra un esquema general de una instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red que va

acoplado con un inversor y adicional los contadores de producción y consumo para regular la cantidad de energía que se produce en el sistema fotovoltaico.

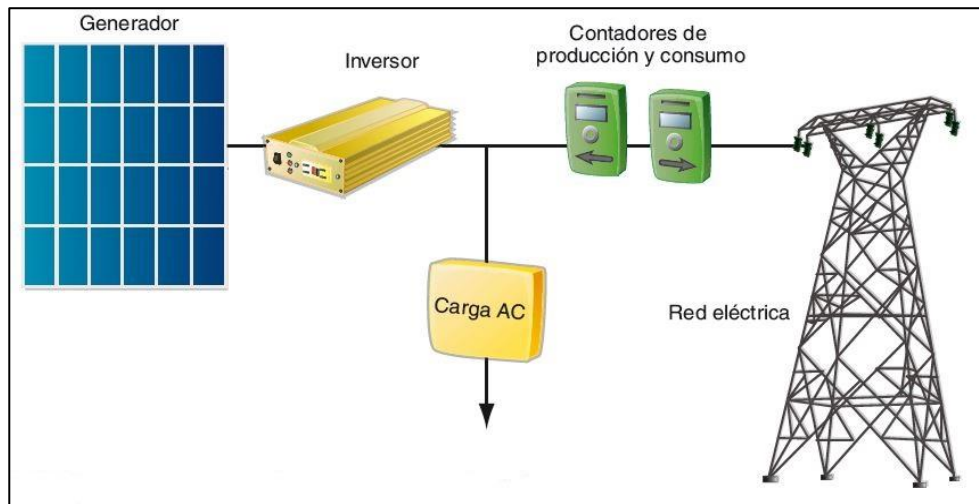


Figura 10: Esquema de una instalación conectada a la red con inversor
Fuente: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.24).

Las características siempre consideradas para un inversor DC – AC las podemos resumir de la siguiente manera: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.25).

- Gran eficiencia:
- Mínimo consumo en vacío
- Gran fiabilidad: durare en picos de avance.
- Seguridad contra cortocircuitos
- Protección
- Deseable regulación de la tensión y tiempo de salida.

2.2.1.9 Factores climatológicos relevantes en el S. Fotovoltaico

A. Radiación Solar

En las conexiones solares fotovoltaicas es la radiación solar reincidente. El uso de energía solar como factor de energía tienen varias ventajas. (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.32).

- Es una fuente de energía inagotable (renovable)
- Está disponible en cualquier ubicación geográfica
- Es una fuente de energía de libre uso.

B. Horas de Pico Solar

Según Pareja (p.75), menciona que se pueden definir las horas de pico solar (*HPS*) como las horas de irradiación diarias (u horas de luz) y cuyo valor puede variar desde 3 a 7 horas diarias, dependiendo del mes y lugar de la instalación.

Nota: se define la irradiancia como el flujo de irradiación solar que incide sobre la unidad de superficie y se mide en kilovatios por metro cuadrado (kW/m^2).

La siguiente figura N°11 nos muestra mediante una curva la representación de la irradiancia, en donde se expresa la evolución a lo largo del día, quedando como punto máximo el central que correspondería aproximadamente las 12 horas del mediodía. Incluido en un rectángulo se muestran las horas utilizadas para el cálculo, es decir las horas de pico solar (*HPS*).

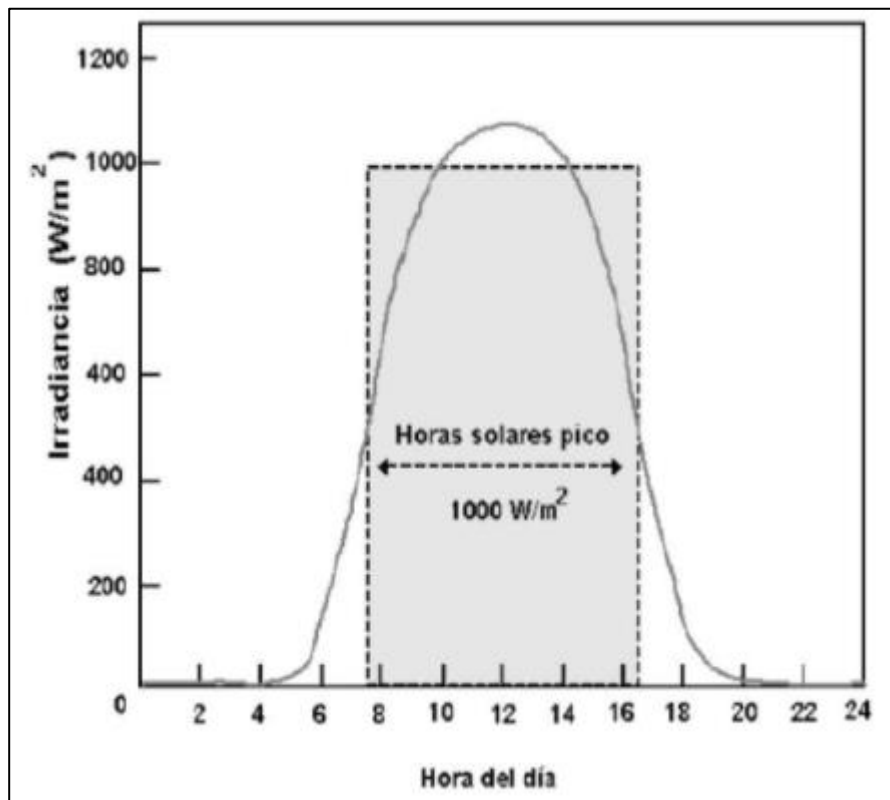


Figura 11: Irradiancia a lo largo del día.
Fuente: (Pareja, M., 2010, p.75).

Para Calcular el valor de HPS. (Nogales, F., 2015, p.29)

$$HPS = \text{Irradiacion} / STC \quad (4)$$

Donde:

HPS: Número de horas que se dispone de una constante solar hipotética de 1000 W/m².

STC: potencia de irradiancia en condiciones estándar: 1000 W/m²

Irradiación: cantidad de radiación solar que llega hasta la superficie de la tierra en un tiempo determinado. Se mide en Wh/m²

C. Irradiación Solar

Es una medida de la cantidad de energía solar que llega a una superficie determinada durante un periodo de tiempo determinado. Las unidades más frecuentes son Wh/m²/día, o kW/m²/día. (Style, O., 2012, p.15).

D. Días de autonomía

Es la cantidad de días con baja o nula irradiación durante la cual funcionara la instalación, es decir, que las instalaciones funcionen sin necesidad de que se suministre energía desde los paneles. (Pareja, M., 2010, p.76).

E. Inclinación de los módulos solares

La inclinación de los módulos y de los captadores tienen mucho que ver con la latitud del lugar en el que se instalan. La latitud (Φ) mide el ángulo que existe entre un determinado punto del planeta y el ecuador, medido sobre el meridiano que pasa por dicho punto. (Cantos, J., 2016, p.10).

Para calcular el ángulo de inclinación (β) en instalaciones fotovoltaicas aisladas deben seguirse las siguientes directrices que recomienda el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

- Consumo constante anual:

$$\beta = \Phi \quad (5)$$

- Consumo preferente en invierno:

$$\beta = \Phi + 10^\circ \quad (6)$$

- Consumo preferente en verano:

$$\beta = \Phi - 10^\circ \quad (7)$$

Donde: β es el ángulo de inclinación y Φ es la latitud del lugar.

2.2.1.10 Dimensionado del Sistema Fotovoltaico

En las conexiones solares indispensables se labora con bases de información de radiación mensual en promedio. Las informaciones por lugares donde podemos preguntar estos valores. Ejemplos de esta información la encontramos en: (Díaz, T. & Carmona, G., 2010, p.35).

- Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): Sistema de información geográfica para instalaciones fotovoltaicas.
- Censolar H-World (valores medios mensuales de muchas localidades del mundo).
- Portal sobre energía solar de la NASA
- El centro de apoyo a la decisión de energía limpia RETScreen International.

A. Cálculo de la potencia.

La corriente y el voltaje son magnitudes fácilmente medibles, usaremos estas relaciones a menudo en electricidad. (Fowler, R., 1994, p.41).

Expresándolo en una fórmula, tenemos:

$$\text{Potencia (P)} = \text{Corriente (I)} * \text{Voltaje (V)} \quad (8)$$

Donde:

P: potencia en unidad (W)

I: Corriente en amperes (A)

V: Voltaje en volts (V)

B. Estimación del consumo:

Es el consumo diario de energía eléctrica, el cual debe ser suministrado por el sistema fotovoltaico, y se tiene en cuenta el consumo energético de CC y AC. (Salamanca, S., 2017, p.266).

$$E_{CC} = \sum \#E_{qip} * Horas * P_{Eq} \quad (9)$$

Donde:

E_{CC} : Es la estimación de consumo de equipos en CC.

$\#Eqip$: Es el número de equipos de las mismas características.

$Horas$: Es la cantidad de horas que se prevé que esté en funcionamiento el equipo.

PEq : Es la potencia nominal de cada equipo de CC conectado.

$$E_{AC} = \sum \#E_{qip} * Horas * P_{Eq} \quad (10)$$

En la fórmula 5, las variables son exactamente iguales que en la 4, solo que se aplican para los equipos de AC.

La energía total consumida por la carga es la suma de la energía consumida por los dispositivos de CC y la consumida por los dispositivos de CC y la consumida por los dispositivos de AC. (Salamanca, S., 2017, p.267).

$$E_{CARGA\ TOTAL} = E_{CC} + E_{AC} \quad (11)$$

Donde:

$E_{CargaTotal}$: Es la estimación de consumo de energía total.

E_{CC} : Es la estimación de consumo de equipos en CC.

E_{AC} : Es la estimación de consumo de equipos en AC.

C. Estimación de pérdidas

La energía que se genera por los paneles debe tomar en consideración las pérdidas de energía anticipadas en el sistema. (Salamanca, S., 2017, p.267).

$$n_T = n_B * n_{INV} * n_R * n_X \quad (12)$$

Donde:

n_T : Eficiencia total por pérdidas.

n_B : Eficiencia debido al rendimiento de la batería que típicamente puede oscilar entre 75% y un 90%.

n_{inv} : Eficiencia debido al rendimiento del inversor utilizado, es decir, principalmente en instalaciones de 220V. Los valores por defecto suelen oscilar entre 85% y el 98%.

n_R : Eficiencia debido al rendimiento del regulador empleado. Suele depender de la tecnología utilizada, pero, si no se conoce, se escoge un valor por defecto del 90%.

n_X : Eficiencia que considera las pérdidas no contempladas.

D. Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos

Este dimensionamiento implica calcular la energía total necesaria a generar (considerando la estimación de pérdidas) y con base en la insolación del lugar, determinar la cantidad de paneles y la forma de conexión (serie y paralelo). (Salamanca, S., 2017, p.267).

El coeficiente es un factor de seguridad para afrontar la degradación de potencia y prestaciones de los diferentes

componentes del sistema fotovoltaico. (Salamanca, S., 2017, p.267).

$$(E_{gen} = \gamma \left(\frac{E_{AC}}{n_{TAC}} + \frac{E_{CC}}{n_{TCC}} \right)) \quad (13)$$

Donde:

γ : es el factor de seguridad.

E_{AC} : es el consumo energético diario de AC

n_{TAC} : es la eficiencia del sistema AC

E_{CC} : es el consumo energético diario de CC

n_{TCC} : es la eficiencia del sistema CC

Si no se utiliza un regulador con seguimiento de punto de máxima potencia MPPT, el cual tiene como función determinar el punto de máxima eficiencia energética al instante en cualquier situación, deberá tenerse en cuenta que será entonces la batería la que marque la tensión del sistema. (Salamanca, S., 2017, p.267).

$$E_{panel} = Wp_{(T)} * HSP * \frac{V_{np}}{V_p} \quad (14)$$

Donde:

$Wp_{(T)}$: es la potencia nominal o pico.

HSP: es la hora solar pico

V_{np} : es la tensión nominal del panel.

V_p : es la tensión pico del panel.

E_{panel} : es la energía diaria generada por el panel.

E. Determinación de la tensión nominal de la instalación

La tensión de funcionamiento se puede determinar a partir de la potencia de la instalación, que lógicamente está

relacionada con la energía consumida. Se suelen emplear las tensiones estándar: 12V, 24V, 48V o 120V. En general se recomienda: (Salamanca, S., 2017, p.268).

12 V para potencias menores de 1.5 kW.

24 V o 48 V para potencias entre 1.5kW y 5kW.

48 V o 120 V para potencias mayores a 5 kW.

F. Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos

i. Cantidad total de paneles

La cantidad total de paneles será la cantidad de paneles necesarios para poder abastecer a la carga. (Salamanca, S., 2017, p.268).

$$N_{TP} = \frac{E_{gen}}{E_{panel}} \quad (15)$$

Donde:

N_{TP} : es el número total de paneles del bloque generador.

E_{gen} : es la energía diaria generada por el bloque.

E_{panel} : es la energía diaria generada por el panel.

ii. Cantidad de paneles en serie

La asociación de paneles en serie se hace con el fin de aumentar la tensión del bloque generador. (Salamanca, S., 2017, p.268).

$$N_{PS} = \frac{V_{nom}}{V_{np}} \quad (16)$$

Donde:

NPS: es la cantidad de paneles en serie.

V_{nom} : es la tensión nominal del sistema.

V_{np} : es la tensión nominal del panel

iii. Cantidad de paneles en paralelo

La asociación de paneles en paralelo se realiza con el fin de aumentar la capacidad de corriente del bloque generador una vez que la tensión nominal se alcanzó mediante la asociación de paneles en serie. (Salamanca, S., 2017, p.268).

$$N_{PP} = \frac{N_{TP}}{N_{PS}} \quad (17)$$

Donde:

NPS: es la cantidad de paneles en serie.

NPP: es la cantidad de paneles en paralelo.

N_{TP} : es el número total de paneles

iv. Dimensionamiento del banco de baterías

El banco de baterías deberá suministrar la energía requerida por la carga cuando no haya sol, o en días nublados. Este debe acumular la energía necesaria para alimentar la carga durante los días sin sol y durante la noche. Además, esta energía debe contemplar las pérdidas producidas por los diversos componentes. (Salamanca, S., 2017, p.268).

Para el cálculo de la capacidad del banco de baterías se necesita definir principalmente los siguientes parámetros:

- ✓ D_{aut} : días de autonomía con baja o nula insolación
- ✓ P_{Dmax} : profundidad máxima de descarga de la batería, que vendría dada por el fabricante de las baterías; por defecto se escoge un valor del 60% o 80%.
- ✓ n_D : eficiencia de descarga, debe contemplar la eficiencia de descarga de la batería, eficiencia de descarga del inversor, la del regulador de carga en caso tenga salida de CC, pérdidas en cables, etc. Por defecto puede usarse un valor del 75%.

$$C_{nb} = \frac{E_{CT} * (D_{OUT} + 1)}{V_{nom} * P_{Dmax} * n_D} \quad (18)$$

Donde:

C_{nb} : es la capacidad nominal del banco de baterías en Ah/día.

E_{CT} : es el consumo energético diario total de la carga.

D_{OUT} : son los días de autonomía.

V_{nom} : es la tensión nominal del sistema

P_{Dmax} : es la profundidad máxima de descarga de la batería.

n_D : es la eficiencia de la descarga.

v. Cantidad de baterías

$$N_{BT} = \frac{V_{nom} * C_{nom_banco}}{V_{nom_bat} * C_{nom_bat}} \quad (19)$$

Donde:

N_{BT} : es el número total de baterías del banco.

C_{nom_banco} : es la capacidad nominal del banco.

C_{nom_bat} : es la capacidad nominal de una batería

V_{nom} : es la tensión nominal del sistema

V_{nom_bat} : es la tensión nominal de una sola batería.

(Salamanca, S., 2017, p.269).

vi. Dimensionamiento del regulador de carga

El regulador se conecta en serie con los paneles fotovoltaicos, por lo que circulara la corriente generada por ellos. Como regla de diseño, la corriente nominal del regulador se elige un 20% o 25% mayor a la corriente de cortocircuito entregada por el bloque generador o el mayor valor de la corriente de carga continua. (Salamanca, S., 2017, p.269).

$$I_{reg} = 1.25 * \max (N_{pp} * I_{cc} * I_{car-cc}) \quad (20)$$

Donde:

I_{reg} : es la corriente nominal del regulador.

N_{pp} : es el número de paneles solares en paralelo

I_{cc} : es la corriente de corto circuito de un panel fotovoltaico.

$\max(N_{pp} * I_{cc} * I_{car_cc})$: es el valor máximo entre la corriente de corto circuito del bloque generador y la demandada por la carga continua.

2.2.2 Sensores strain gauges:

Las galgas extensiométricas (*strain gauges*), son sensores resistivos de material conductor cuya resistencia depende de la tensión mecánica aplicada. (Pérez, M., 2014, p.273).

Las galgas de deformación son dispositivos que funcionan como pequeños transductores que responden a las deformaciones de una superficie a la cual ha sido adherida. Son pequeños acomodados de alambre metálico en una pequeña tarjeta impresa. (Muñoz, M., y Rojas, J., 2004, p.87).

La siguiente figura N°12 nos muestra la estructura de una galga extensiométrica compuesta por un soporte, un hilo conductor y puntos de conexión.

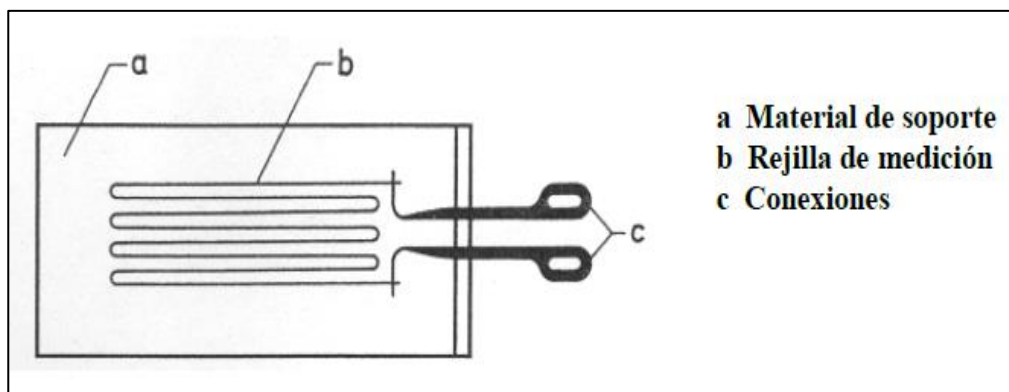


Figura 12: Diseño de banda extensiométrica con rejilla de medición de hilo
Fuente: (Hoffman, K., 1989, p.7).

Las galgas actuales no suelen estar construidas con hilo sino con una deposición de metal sobre una lámina fina y flexible de algún material plástico muy resistente. (Pérez, M., 2014, p.274).

En la siguiente figura N°13 se muestra el aspecto básico de una galga actual y su símbolo de circuito.

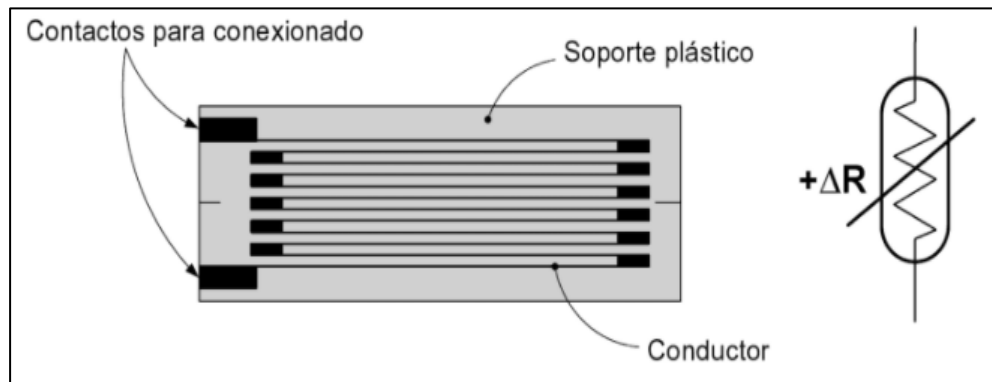


Figura 13: Aspecto de una galga extensiométrica actual, con material conductor depositado sobre un soporte plástico, por ejemplo, una poliamida.
Fuente: (Pérez, M., 2014, p.274).

2.2.2.1 Principio de funcionamiento

Se basa en el efecto piezorresistivo de metales y semiconductores, según el cual, su resistividad varía en función de la deformación a la que están sometidos, el material de que está hecho y el diseño adoptado. Si se considera un hilo metálico de longitud l , sección transversal A y resistividad ρ , su resistencia eléctrica R es: (Alzate, E., Montes, J. y Silva, C., 2007, p.7).

$$R = \rho * \frac{l}{A} \quad (21)$$

Donde:

R: Resistencia eléctrica

A: Sección transversal

ρ : Resistividad

l: Longitud

2.2.2.2 Unidad de medida de la deformación

Las longitudes se miden en la unidad de longitud, el metro (m). La deformación ε se define como el cociente entre la variación de longitud Δl y una longitud de referencia. En consecuencia, la unidad de deformación es (m/m): (Hoffman, K., 1989, p.22).

$$\varepsilon = \left(\frac{\Delta l}{l_0} \right) \quad (22)$$

Donde:

ε : es la deformación

Δl : variación de la longitud

l_0 : es la longitud de referencia.

Dado que las variaciones de longitud consideradas son normalmente muy pequeñas, se emplean los submúltiplos normalizados del metro como unidades: (Hoffman, K., 1989, p.22).

$$10^{-6} \text{ m} = \mu\text{m}$$

$$10^{-3} \text{ m} = \text{mm}$$

$$10^{-2} \text{ m} = \text{cm}$$

2.2.2.3 Tipos de bandas extensiométrica.

Se distingue entre bandas lineales de disposición simple y doble (paralela), rosetas X con los ejes de medición cruzados a 90°, rosetas R con tres ejes de medición colocados en ciertos ángulos el uno del otro, cadenas de bandas extensiométricas y muchos otros diseños especiales. (Hoffman, K., 1989, p.43).

La gran variedad de formas y tamaños es el resultado de la adaptación a distintos problemas y aplicaciones.

2.3. Definición de términos básicos

Batería: Es el dispositivo que permite el almacenamiento de energía eléctrica, mediante la transformación reversible de energía eléctrica en energía química.

Carga: Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que esta ópera.

Celda solar: Elemento que transforma la luz solar en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.

Conexión en paralelo: Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan.

Conexión en serie: Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente.

Controlador de carga: Dispositivo eléctrico-mecánico o electrónico cuya función principal es proteger a la batería de eventuales sobrecargas o descargas más allá de los límites sugeridos por el fabricante.

Corriente de cortocircuito: Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo. (A)

Energía eléctrica: Es la potencia eléctrica producida, transmitida o consumida en un periodo de tiempo

Energía Solar: Es la energía obtenida directamente del sol. La radiación solar incidente en la tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar, o directamente, a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable, limpia y sustentable.

Generador fotovoltaico: Conjunto de uno o más módulos fotovoltaicos, interconectado para generar electricidad a partir de la energía solar incidente en su superficie.

Hora de sol pico: Numero equivalente de horas a $1\text{KWh}/\text{m}^2$ de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

Instalación fotovoltaica: Conjunto de componentes fotovoltaicos: modulo fotovoltaico, batería, controlador de carga y otros accesorios; instalados para suministrar electricidad a los usuarios.

Irradiación solar: Potencia radiativa de la radiación solar por unidad de superficie.

Panel fotovoltaico o módulo fotovoltaico: Conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre sí en serie o en paralelo con el fin de generar cantidades de corriente y voltaje requeridos por una carga determinada.

Watt pico: Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento ($1000\text{W}/\text{m}^2$, 25°C y 1.5 de masa de aire)

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

3.1. Determinación y análisis del problema

En una de las evaluaciones del mantenimiento preventivo que se realizó al molino de bolas ML601 de la planta concentradora 2 se observó que en el polo 51 existe un desgaste crítico por el mismo esfuerzo en la operación del molino, concluyendo en dicho informe que se requiere la instalación de sensores strain gauges en el polo 51 del molino ML601 de la planta concentradora 2 para evaluar el desplazamiento de sus estructuras y conexiones interpolares con el fin de verificar su magnitud y su impacto en la operación del molino de bolas ML601 de la planta C2 para procesarla y posteriormente analizarla.

En la siguiente figura N°14 se observa el mantenimiento preventivo que se realizó en los polos del molino de bolas que consta de hacer una inspección visual tanto a la estructura del bobinado y el mismo polo, en algunos casos se aplica limpia contactos para la limpieza externa en donde se necesite.



Figura 14: Mantenimiento en las conexiones del polo al molino ML 601.
Fuente: Elaboración propia

El molino de bolas ML601 de la planta concentradora 2 en SMCV, cuenta con sensores strain gauges en el polo 51 para realizar la evaluación del desplazamiento de sus estructuras y conexiones interpolares con el fin de verificar su magnitud y su impacto en la operación para procesarla y posteriormente analizarla.

La medición de los parámetros físicos del polo 51 se desarrollan mediante los sensores strain gauges, estos datos son enviados a través de transmisores inalámbricos para su recopilación y posterior transferencia de los datos obtenidos en todo momento, pero estos transmisores al estar en funcionamiento todo el día necesitan de un suministro de energía constante VDC, actualmente son alimentados por pilas (4 x AA 3.6V LiSOCL2). Estas pilas poseen una capacidad limitada de almacenamiento de energía, eso implica realizar su cambio cada cierto periodo de tiempo y lograr ese cambio en un molino de bolas en pleno funcionamiento requiere tomar las medidas de seguridad correspondiente al personal de la planta encargado de esta tarea, este hecho afecta la producción de la planta y para evitarlo se propone el diseño de un sistema fotovoltaico que suministre energía a los transmisores inalámbricos de forma inagotable sin necesidad de detener la operación de molienda.

3.2. Modelo de solución propuesto

La solución propuesta es realizar el diseño de un sistema fotovoltaico, será viable por la evaluación de diferentes aspectos como: valores de irradiación que recibe el lugar del proyecto y tener el sistema eléctrico dimensionado, a futuro será fácil realizar su implementación en el molino de bolas ML601 para suministrar la energía DC requerida a los transmisores inalámbricos de los sensores strain gauges para que se realice la medición de esfuerzos en el polo 51 del molino ML601 de la planta concentradora 2. Así con la implementación evitará estos cambios de pilas, por ser el sistema fotovoltaico de naturaleza inagotable y renovable; pues procede del sol al captar su patrón de radiación solar que genera las condiciones adecuadas para el funcionamiento del sistema fotovoltaico y permitirá continuar con el proceso de molienda que determina en gran medida la rentabilidad de la operación minera. Mencionando, además, que el uso de energías renovables evita que se generen miles de toneladas de gases invernaderos al año, pues la utilización de energías renovables evita el uso de combustibles fósiles que tanto perjudican al planeta.

Para el diseño del sistema fotovoltaico se requiere cumplir con los objetivos trazados al inicio del trabajo que son los siguientes:

3.2.1. Cálculo de la demanda de energía eléctrica

Antes de iniciar el cálculo de la demanda de energía eléctrica del sistema de medición de los sensores strain gauges que se encuentra en el molino de bolas ML601 de la planta concentradora 2, es necesario mencionar los componentes que forman parte de su sistema de medición:

a. Sensores Strain Gauges:

- Modelo: KFGS – 5- 350 – D17- 11 L1M3S
- Marca: Kyowa
- Tipo: Roseta apilada KFGS 350 TRIAXIAL 0°/90°/45°
- Cantidad: 20 unidades.

La siguiente figura N° 15 nos muestra un sensor strain gauges o galga extensiométrica Kyowa, este se entrega con un cable de alambre conductor preconectado para garantizar el ahorro de mano de obra en los trabajos de unión del calibre al eliminar la necesidad de soldar.

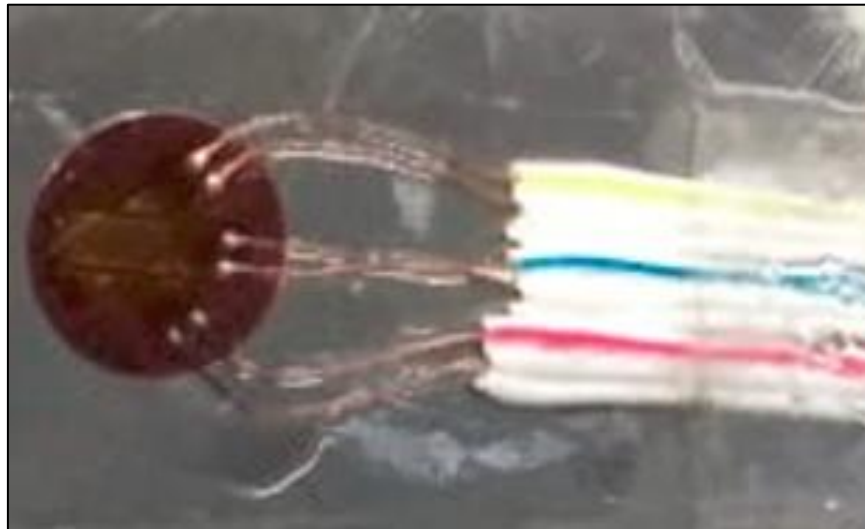


Figura 15. Esquema del sensor strain Gauge triaxial tipo roseta
Fuente: Elaboración propia

b. Nodo o Transmisor Inalámbrico:

- Marca: LORD
- Tipo: V-Link 200
- Modelo: Sensor de entrada analógica inalámbrica de 8 canales.
- Cantidad 6 unidades.

La siguiente figura N° 16 nos muestra un transmisor inalámbrico LORD del tipo V- Link 200, este cuenta con 8 nodos que se configuran como un cuarto de puente de tres hilos. Todos los V-link 200 están montados dentro de carcasas.



Figura 16. Esquema del transmisor inalámbrico V-Link 200
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al manual y ficha técnica del nodo sensor de entrada analógica inalámbrica de 8 canales V - Link 200, se obtienen los siguientes datos de trabajo:

Sensores Strain Gauge:

(Voltaje= 4, 096V e Intensidad de corriente= 150mA)

Transmisor Inalámbrico

(Voltaje= 12V e Intensidad de corriente = 100mA)

Según (Fowler, R., 1994), para hallar la potencia en de cada componente del sistema de medición, realizamos las siguientes operaciones, que es multiplicar la intensidad de corriente con el voltaje de cada componente del sistema de medición.

Cálculo de la potencia.

$$\boxed{Potencia (P) = Corriente (I) * Voltaje (V)} \quad (8)$$

Potencia Sensor Strain Gauge:

$$P = 150\text{mA} * 4,096 \text{ V} = 0,615 \text{ W.}$$

Potencia Transmisor Inalámbrico:

$$P = 100\text{mA} * 12 \text{ V} = 1,2 \text{ W.}$$

Se observa que para los sensores strain gauge se obtiene una potencia de 0,615 W y para los transmisores inalámbricos una potencia total de 1,2W, se cuenta con una potencia baja debido a su naturaleza.

En la siguiente tabla N°2 se muestra las características eléctricas del sistema de medición Strain Gauge. Como el sistema de medición de sensores strain gauges requiere que se opere todo el día para obtener los datos actualizados de la tensión que sufre la estructura del polo 51, entonces se considerará 24h de uso.

Tabla 2

Características eléctricas del sistema de medición Strain Gauge

Equipo	Cantidad	Horas de uso	Potencia
Sensor Strain Gauge	20	24h	0,615W
Transmisor Inalámbrico	6	24h	1,2W

Fuente: Elaboración Propia

Según Salamanca (p.266), para la estimación del consumo diario de energía eléctrica se debe tener en consideración todos sus componentes según la siguiente formula.

Estimación del consumo:

$$E_{CC} = \sum \#E_{qip} * Horas * P_{Eq} \quad (9)$$

Utilizaremos los valores de la tabla N°2 para obtener el consumo total del sistema de medición Strain Gauge:

$$ECC = (20 * 24 * 0,615) + (6 * 24 * 1,2)$$

$$ECC = 468 \text{ Wh/dia.}$$

3.2.2. Cálculo de la irradiación solar y hora solar pico

Geográficamente el punto de estudio que se toma para el diseño del sistema solar fotovoltaico es en el molino de bolas ML601 que se encuentra en la planta concentradora 2 en Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A está ubicado entre las coordenadas:

Latitud: 16°33'32.1"S

Longitud: 71°35'19.2"W

En la siguiente figura N°17 se observa la ubicación geográfica del punto de estudio que se toma para el diseño del sistema fotovoltaico. La imagen muestra exactamente el molino de bolas ML601 donde se implementará nuestro diseño.

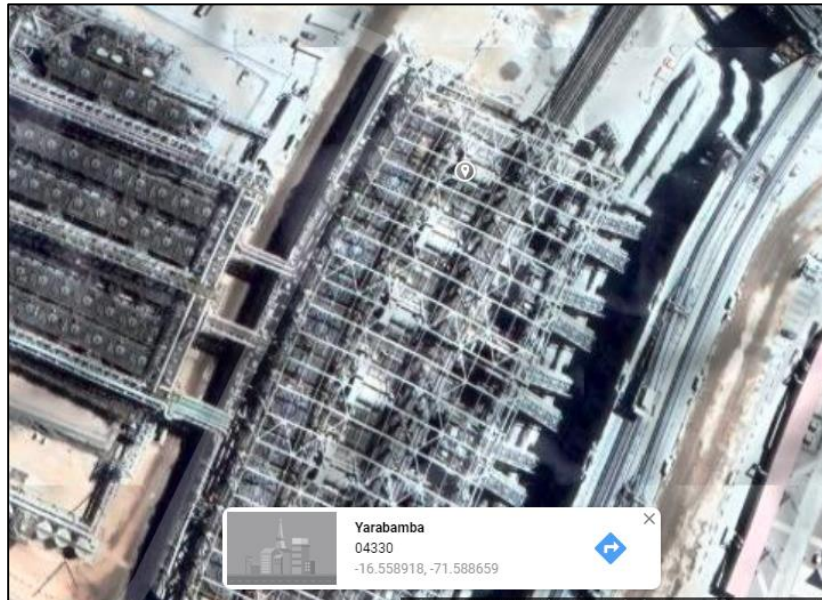


Figura 17: Ubicación geográfica del molinos de bolas ML601 en C2
Fuente: [https://www.google.com/maps/place/16°33'32.1\" S+71°35'19.2\" W](https://www.google.com/maps/place/16°33'32.1\)

Procedimiento de recolección de datos de irradiación solar

La fabricación de conexiones solares autónomas labora con información de radiación mensual promedio. En este caso se utilizará la base de datos: Portal sobre energía solar de la NASA. (Díaz, T. & Carmona, G., 2010)

a. Recolección de base de datos de la NASA

Existen diversas bases de datos donde se pueden obtener los valores de radiación solar, pero uno de los más usados es el de la NASA que nos brinda una aplicación de mapas web receptiva que proporciona subconjuntos de datos, gráficos y herramientas de visualización en una interfaz fácil de usar llamado “POWER DATA ACCESS VIEWER”.

Ingresamos al siguiente link que nos dará acceso a la base de datos de la NASA <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> como muestra la figura N°18.

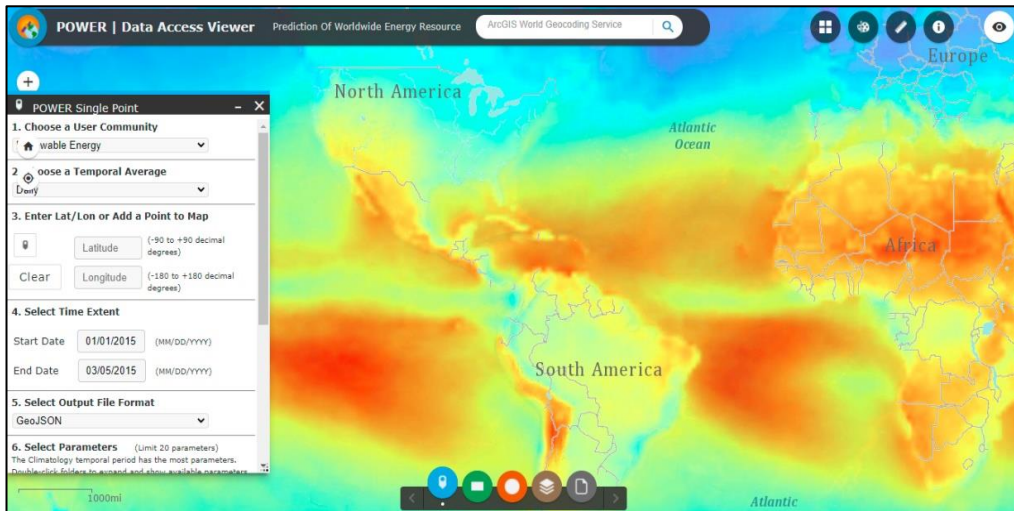


Figura 18: Página principal “POWER DATA ACCESS VIEWER”
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°19 elegimos en el primer punto la comunidad de usuarios del cual queremos obtener datos y seleccionamos “Renewable Energy” en español energías renovables, es preciso la característica principal de los datos que deseamos obtener.

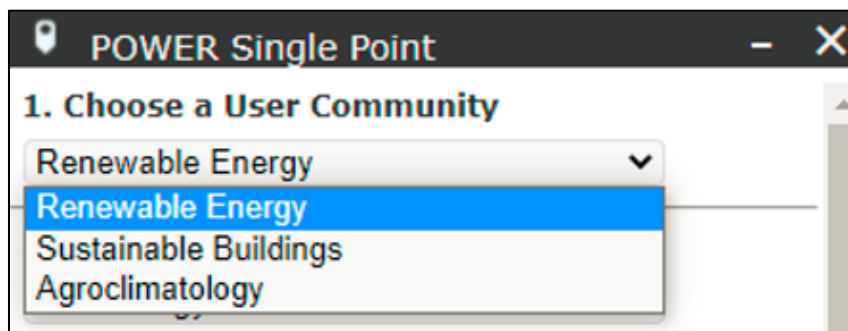


Figura 19: Selección de comunidad de usuarios
Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°20, el segundo punto tenemos que escoger el promedio temporal de nuestra búsqueda y seleccionamos “Climatology”

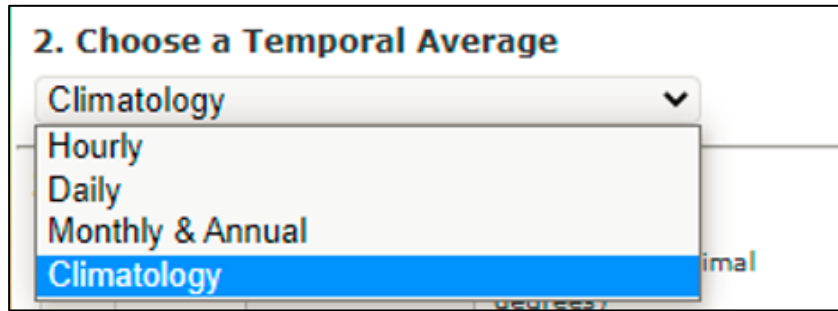


Figura 20: Selección del promedio temporal
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°21, es el tercer punto tenemos que ingresar las coordenadas de nuestra zona de estudio donde se llevara a cabo la implementación del diseño de este trabajo. Las coordenadas donde está ubicado el molino de bolas ML 601 son:

Latitud: -16.558911

Longitud: -71.588642

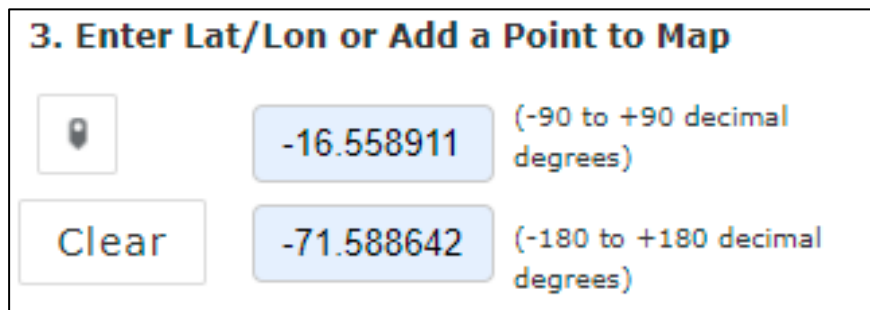


Figura 21: Ingreso de las coordenadas a la aplicación
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°22 es el cuarto punto donde ingresamos la extensión del tiempo (Fecha de inicio y Fecha final). De preferencia se coloca la fecha más cercana a la actualidad para obtener los recientes valores.

4. Select Time Extent

Do you want a custom climatology? Yes No
More parameters available for the pre-computed climatology.

Start Date 01/01/2019 2020 ▼ (mm)

End Date 03/08/2019 2020 ▼ (mm)

Figura 22: Selección del periodo de evaluación
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°23 nos muestra el quinto punto donde seleccionamos el formato del archivo que nos entregara los datos que buscamos.

5. Select Output File Format

CSV ▼

ASCII

CSV

GeoJSON

NetCDF

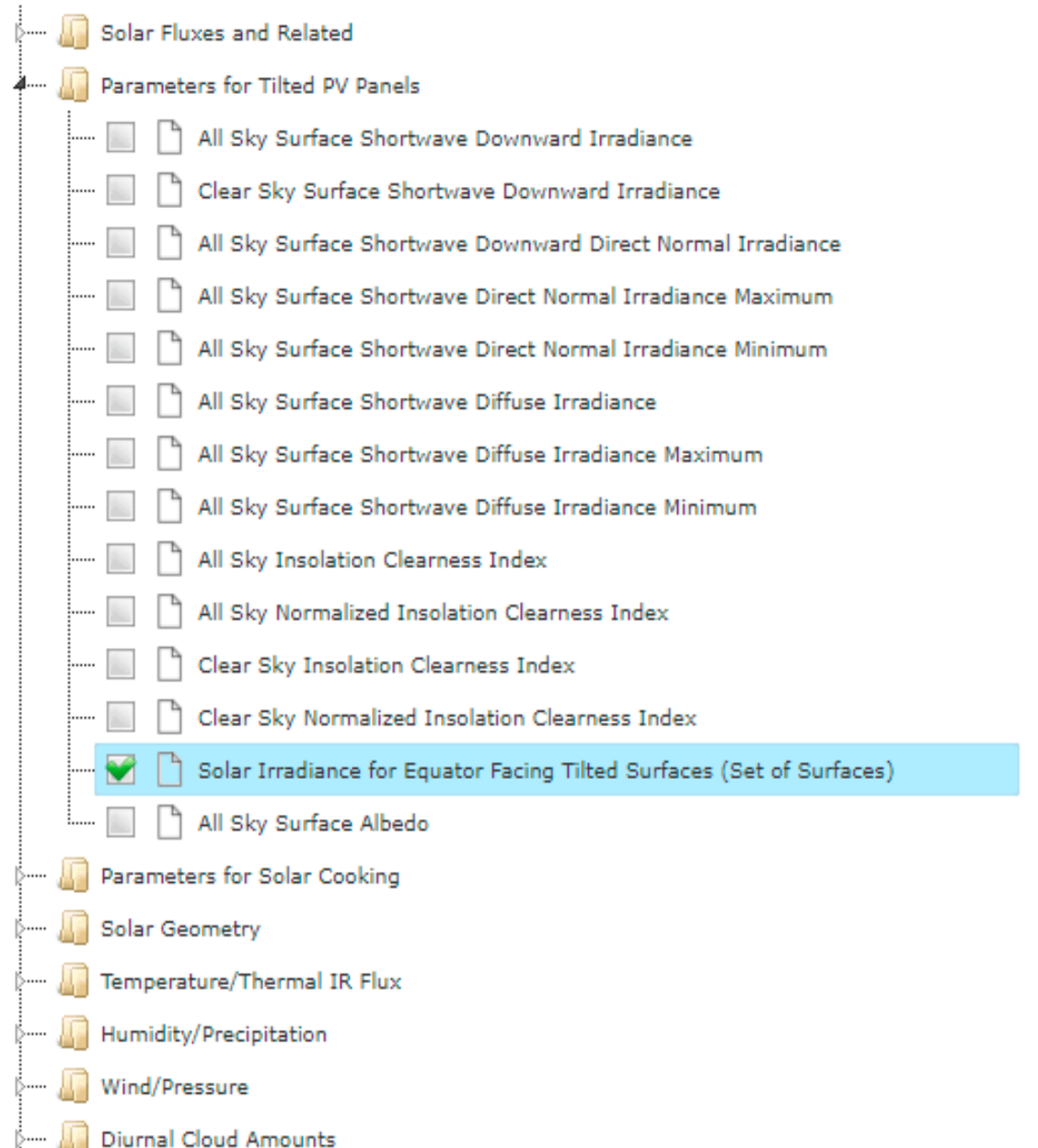
Figura 23: Selección de formato para extracción de archivos
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°24 nos muestra el sexto punto donde seleccionamos los parámetros que deseamos obtener de las coordenadas que hemos ingresado anteriormente. Como deseamos obtener la irradiación solar en el punto específico de estudio donde se encuentra ubicado el molino 601 entonces marcamos la opción Solar

Irradiance for Equator Facing Tilted Surfaces que está dentro de los parámetros para los paneles fotovoltaicos.

6. Select Parameters (Limit 20 parameters)
The Climatology temporal period has the most parameters.
Double-click folders to expand and show available parameters.

Search Parameters



- Solar Fluxes and Related
- Parameters for Tilted PV Panels
 - All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance
 - Clear Sky Surface Shortwave Downward Irradiance
 - All Sky Surface Shortwave Downward Direct Normal Irradiance
 - All Sky Surface Shortwave Direct Normal Irradiance Maximum
 - All Sky Surface Shortwave Direct Normal Irradiance Minimum
 - All Sky Surface Shortwave Diffuse Irradiance
 - All Sky Surface Shortwave Diffuse Irradiance Maximum
 - All Sky Surface Shortwave Diffuse Irradiance Minimum
 - All Sky Insolation Clearness Index
 - All Sky Normalized Insolation Clearness Index
 - Clear Sky Insolation Clearness Index
 - Clear Sky Normalized Insolation Clearness Index
 - Solar Irradiance for Equator Facing Tilted Surfaces (Set of Surfaces)
 - All Sky Surface Albedo
- Parameters for Solar Cooking
- Solar Geometry
- Temperature/Thermal IR Flux
- Humidity/Precipitation
- Wind/Pressure
- Diurnal Cloud Amounts

Figura 24: Selección de parámetros de estudio
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°25 nos muestra el último punto donde damos clic en el botón “submit” para que la aplicación proceda a entregar los datos que solicitamos. Seguidamente se mostrará una ventana donde nos indicara que nuestros datos están listos para ser descargados en el formato que hallamos seleccionado.



Figura 25: Descarga de documento con datos de estudio
Fuente: Elaboración propia

Abrimos el archivo que descargamos de la aplicación de la NASA y finalmente obtenemos los datos de irradiación en kWh/m² que buscamos para nuestro punto en específico. Como nos muestra la figura N°26. Tenemos la irradiación solar para cada mes del año de evaluación para el punto específico donde se desea implementar este sistema solar fotovoltaico para alimentar el sistema de medición por sensores strain gauges.

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Climatology Climatologies													
2-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 2019 - December 2020)													
Location: Latitude -16.5589 Longitude -71.5886													
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 1940.88 meters													
Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999													
Parameter(s):													
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Horizontal Surface (kW-hr/m ² /day)												
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Minus 15 Tilt (kW-hr/m ² /day)												
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Tilt (kW-hr/m ² /day)												
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Plus 15 Tilt (kW-hr/m ² /day)												
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Vertical Surface (kW-hr/m ² /day)												
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Optimal (kW-hr/m ² /day)												
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Optimal Angle (Degrees)												
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG_ORT	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Tilted Surface Orientation (N/S Orientation)												
-END HEADER-													
PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	5.84	5.33	6.03	6.37	5.91	5.57	5.83	6.51	7.02	7.56	7.94	7.28	
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	5.82	5.32	6.05	6.44	6.02	5.7	5.96	6.61	7.07	7.58	7.91	7.25	
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	5.48	5.18	6.12	6.95	6.95	6.83	7.05	7.4	7.39	7.47	7.45	6.72	
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	4.9	4.79	5.89	7.07	7.47	7.55	7.72	7.76	7.31	6.97	6.61	5.86	
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	1.78	1.83	2.61	4.14	5.4	6.04	5.97	5.09	3.63	2.25	1.76	1.87	
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	5.84	5.33	6.13	7.08	7.57	7.82	7.94	7.79	7.41	7.59	7.94	7.28	
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	0	0	12.5	29	42	48	46	36.5	21	5	0	0	

Figura 26: Resultados de los parámetros seleccionados en la aplicación “POWER DATA ACCESS VIEWER”

Fuente: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Según la base de datos de la NASA tenemos los siguientes datos de irradiación solar, se tomó la muestra de los 2 últimos años desde enero del 2019 a diciembre del 2020 para obtener unos datos más semejantes a la actualidad.

Para obtener un mejor diseño del sistema solar fotovoltaico entonces tomaremos el peor de los casos climáticos por lo tanto será la menor irradiación solar que se tuvo en ese tiempo. Según la figura de los resultados, la irradiación solar para una inclinación de latitud frente al ecuador es:

$$\text{Irradiación solar (febrero)} = 5,18 \text{ kWh/m}^2 = 5180 \text{ Wh/m}^2$$

$$\text{Angulo de inclinación} = 16^\circ \text{ (latitud respecto al ecuador)}$$

Según Nogales (p.29), para calcular el valor de HPS se tiene la siguiente formula que implica la irradiación solar en Wh/m^2 . Usamos la formula N°4.

$$\boxed{HPS = \text{Irradiacion} / STC} \quad (4)$$

$$HPS = 5180 / 1000 = 5,18 \text{ HPS}$$

Según Cantos (p.10), para determinar la inclinación de los paneles solares en un sistema fotovoltaico aislado para un consumo constante anual se tomará en cuenta la siguiente formula N°5.

$$\boxed{\beta = \phi^\circ} \quad (5)$$

$$\beta = 16^\circ$$

3.2.3. Dimensionamiento de los componentes eléctricos

Estimación de pérdidas

Según Salamanca (p.267), se utiliza la siguiente fórmula N°12 para encontrar la eficiencia total del sistema.

$$n_T = n_B * n_{INV} * n_R * n_X \quad (12)$$

Como es un sistema en CC, se omitirá la eficiencia en CA. Por lo tanto, se colocará por defecto 1 en su variable.

$$n_T = 0.8 * 1 * 0.95 * 0.95$$

$$n_T = 0.722$$

Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos

Según Salamanca (p.267), se tiene. El factor de seguridad suele ser 1,1 y utilizaremos la fórmula N°13 para calcular la energía demandada para el generador constituido de paneles solares fotovoltaicos.

$$E_{gen} = y \left(\frac{E_{AC}}{n_{TAC}} + \frac{E_{CC}}{n_{TCC}} \right) \quad (13)$$

Como el sistema solar fotovoltaico solo trabajará en CC, entonces se omitirá los valores en el sistema AC. El sistema de medición por sensores strain gauges solo requiere corriente continua.

$$E_{gen} = 1,1 * \left(\frac{468}{0,722} \right)$$

$$E_{gen} = \text{Aprox. } 713 \text{ Wh/día.}$$

En la siguiente tabla N°3 se toma en consideración las características de siguiente panel solar (Panel Solar “Solara S220P43”) para determinar los siguientes componentes para el dimensionado del sistema solar fotovoltaico.

Tabla 3

Descripción del panel solar

Panel Solar “Solara S220P43”

Potencia nominal (Wp)	55 W
Tensión pico (V)	22,88
Corriente pico (A)	2,4
Tensión circuito abierto (V)	27,13
Corriente de cortocircuito (A)	2,54

Fuente: Elaboración propia

Determinación de la tensión nominal de la instalación

Según Salamanca (p.268), la tensión de funcionamiento se puede determinar a partir de los siguientes valores:

Como el consumo total de la carga es 468 Wh/día y es menos que 1.5 kW entonces se tendrá una tensión nominal de 12V para el sistema fotovoltaico, además que el sistema de medición strain gauge trabaja a 12 V CC.

12 V para potencias menores de 1.5 kW.

24 V o 48 V para potencias entre 1.5kW y 5kW.

48 V o 120 V para potencias mayores a 5 kW.

Según Salamanca (p.267), si no se contara con un seguimiento de punto de máxima potencia MPPT, tiene la función de obtener el punto de máxima eficiencia energética al instante en cualquier situación, deberá tenerse en cuenta que será entonces la batería la que marque la tensión del sistema. Se utiliza la formula N°14.

$$E_{panel} = Wp_{(T)} * HSP * \frac{V_{np}}{V_p} \quad (14)$$

$$E_{panel} = 55 * 5,18 * \frac{12}{22,88} = 149,42 \text{ Wh/dia.}$$

Cantidad total de paneles

Según Salamanca (p.268), la cantidad de paneles se obtendrá con la siguiente fórmula N°15.

$$N_{TP} = \frac{E_{gen}}{E_{panel}} \quad (15)$$

$$N_{TP} = \frac{713}{149,42} = 4,77 \approx 5$$

Cantidad de paneles en serie

Según Salamanca (p.268), se tiene la siguiente formula N°16. De acuerdo a anteriores datos el Vnom será de 12V para el sistema en general.

$$N_{PS} = \frac{V_{nom}}{V_{np}} \quad (16)$$

$$N_{PS} = \frac{12}{22,08} = 0,54 \approx 1$$

No habrá conexión de paneles en serie.

Cantidad de paneles en paralelo

Según Salamanca (p.268), se tiene la siguiente formula N°17 que determinará la cantidad de paneles solares en paralelo que requiere el sistema de acuerdo al valor de cantidad total de paneles.

$$N_{PP} = \frac{N_{TP}}{N_{PS}} \quad (17)$$

$$N_{PP} = \frac{5}{1} = 5$$

Dimensionamiento del banco de baterías

Según Salamanca (p.268), se tiene la siguiente fórmula N°18 para determinar la carga requerida que debe contar el banco de baterías del sistema solar fotovoltaico. Dependiendo de ese valor se calculará la cantidad de baterías que se requiere.

$$C_{nb} = \frac{E_{CT} * (D_{OUT} + 1)}{V_{nom} * P_{Dmax} * n_D} \quad (18)$$

$$C_{nb} = \frac{468 * (1 + 1)}{12 * 0.8 * 0.9} = 108,33 \text{ Ah}$$

Se tomará una batería de 12V tensión nominal y una carga de 110Ah de la marca Victron Energy para el sistema solar fotovoltaico.

Dimensionamiento del regulador de carga

Según Salamanca (p.269), la siguiente fórmula N°20 para determinar cuál será la capacidad del regulador de carga para el sistema solar fotovoltaico.

$$I_{reg} = 1.25 * \max (N_{pp} * I_{cc} * I_{car-cc}) \quad (20)$$

$$I_{reg} = 1.25 * \max (5 * 2,54) = 15,87 \text{ A}$$

Se utilizará un regulador de carga de 12V y 20A.

3.3. Resultados

- **Resultados del cálculo de la demanda de energía eléctrica.**

Para obtener los resultados de la demanda de energía eléctrica se utilizaron los datos de las siguientes tablas: Tabla N°4 para las características de los sensores Strain gauges y la tabla N°5 para las características de los nodos o transmisores inalámbricos.

Tabla 4

Características de los Sensores Strain Gauges

Modelo	Marca	Tipo	Corriente	Voltaje
KFGS 5 250		Roseta apilada KFGS		
D17 11	KYOWA	350 Triaxial	150 mA	4,096V
L1M3S		0°/90°/45°		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Características de los Transmisores Inalámbricos

Modelo	Marca	Tipo	Corriente	Voltaje
Sensor de entrada analógica inalámbrica de 8 canales	LORD	V-Link 200	100 mA	12V

Fuente: Elaboración propia

Aplicando la formula N°6 para la estimación del consumo se obtienen los resultados de la demanda de energía eléctrica para el sistema de medición por sensores strain gauges que requiere el molino de bolas ML601 en el polo 51.

Para realizar los cálculos de la demanda de energía eléctrica también se tomaron las condiciones de uso del sistema de medición por sensores strain

gauges, los cuales se muestra en la siguiente tabla N°6, dándonos el resultado total de la demanda eléctrica que se requiere que alimente el sistema solar fotovoltaico.

Tabla 6

Cálculo de la demanda eléctrica del sistema de medición strain

Equipo	Cantidad	Horas de uso	Potencia	Demanda Eléctrica
Sensor Strain Gauge	20	24h	0,615W	295.2 Wh/día
Transmisor Inalámbrico	6	24h	1,2W	172.8 Wh/día
			Demanda total	468 Wh/día

Fuente: Elaboración Propia

Se resuelve que para suministrar energía eléctrica a 20 sensores strain gauges acoplados a 6 transmisores inalámbricos se tiene:

Demanda eléctrica de 468 Wh/día.

Este resultado obtenido es favorable para la implementación, ya que se pensaba que al estar en funcionamiento las 24 horas se tendría una mayor demanda de la energía eléctrica, lo cual implicaría el aumento en la cantidad de paneles solares y la capacidad de la batería o acumulador que se necesita en el sistema solar fotovoltaico para el molino de bolas ML601. Este resultado servirá para dimensionar los componentes eléctricos del sistema solar fotovoltaico.

- **Resultados del cálculo de la irradiación solar y hora solar pico**

Estos resultados se obtuvieron gracias a la aplicación virtual de la NASA realizando la evaluación del punto geográfico donde se desarrollará este sistema solar fotovoltaico que está en el molino de bolas ML601 y se encuentra en la planta concentradora 2 en Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A que está ubicado entre las coordenadas:

Latitud: 16°33'32.1"S

Longitud: 71°35'19.2"W

(López, Y., 2019), En una de sus conclusiones indico que **el diseño y dimensionamiento correcto de los equipos a ser utilizados por nuestro sistema, depende principalmente de dos factores los cuales son: El análisis de consumo de energía diaria, y datos de la radiación solar incidente.**

(Villegas, E. y Alcívar, L., 2020), manifestó que **la base de datos online PVGVIS se usa para calcular cuanta energía puede obtener de diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos en casi cualquier lugar del mundo, proporcionando acceso al potencial fotovoltaico para diferentes tecnologías y configuraciones de sistemas conectados a la red e independientes.** Obteniendo como radiación solar y temperatura, como promedio mensual.

Tomando como antecedente las afirmaciones de los autores, usaremos como base de datos la información que nos brinda la aplicación online de la NASA ("POWER DATA ACCESS VIEWER") para obtener los resultados de la irradiación solar en el punto para el desarrollo del sistema solar fotovoltaico.

Una vez colocado los correctos parámetros de búsqueda en la aplicación on-line de la NASA obtenemos los siguientes resultados mensuales de irradiancia solar como se muestra en la tabla N°7 para los primeros 6 meses del año y en la tabla N°8 para los siguientes últimos meses del año.

Tabla 7*Irradiación solar en el molino ML601 enero hasta junio 2020*

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Latitud de superficie	5.48	5.18	6.12	6.95	6.95	6.83
Latitud de superficie <15°	5.82	5.32	6.05	6.44	6.02	5.7
Latitud de superficie >15°	4.9	4.79	5.89	7.07	7.47	7.55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8*Irradiación solar en el molino ML601 julio hasta diciembre 2020*

Parámetro	Jul	Ago.	Sep.	Oct	Nov	Dic
Latitud de superficie	7.05	7.4	7.39	7.47	7.45	6.72
Latitud de superficie <15°	5.96	6.61	7.07	7.58	7.91	7.25
Latitud de superficie >15°	7.72	7.76	7.31	6.97	6.61	5.86

Fuente: Elaboración propia

De las tablas se observa que los valores de radiación solar fueron variando de acuerdo al mes de evaluación, por ello para realizar un diseño del sistema solar fotovoltaico que garantice el suministro de energía eléctrica en diferentes climas, tomaremos uno de los valores más bajos de irradiación solar. Según la tabla de irradiación solar en el molino de bolas, uno de los valores más bajos de irradiación solar es para una inclinación igual a la latitud frente al ecuador que se encuentra en el mes de febrero con una:

Irradiación solar (febrero) = 5,18 kWh/m²

Angulo de inclinación: 16° (latitud con respecto al ecuador)

Haciendo uso de la formula N°4 para calcular la hora solar pico, teniendo en cuenta los datos de:

Irradiación solar= 5,18 kWh/m²

STC= 1000 Wh/m²

Se tiene una **Hora Solar Pico= 5,18 HPS.**

El valor obtenido de HSP nos ayudará a dimensionar los paneles solares fotovoltaicos ya que según la formula N°14 es necesario para conocer la energía que captara el panel cuando esté en funcionamiento. Estos parámetros están vinculados directamente es decir si la Hora solar pico es mayor, también lo será la energía que capte el panel solar.

De acuerdo a los valores entregados por la aplicación de la NASA se toma la irradiación solar para un ángulo de inclinación que sea igual a la latitud del lugar con respecto al ecuador. Además, Cantos (2016) indica que para una instalación solar aislada de uso constante anual se toma la latitud del lugar como ángulo de inclinación para la instalación de los paneles, es por ello que se tomara un ángulo de inclinación (β) *para el diseño del sistema solar fotovoltaico de:*

$$\boxed{\beta = \Phi^\circ} \quad (6)$$

Angulo de inclinación $\beta = 16^\circ$

- **Resultados del dimensionado de los componentes eléctricos**

Los resultados obtenidos para el dimensionado de los componentes eléctricos dependieron mucho de tener los datos de la demanda de energía eléctrica del sistema que se va a suministrar y de la hora solar pico que se cuenta en el punto geográfico donde se desarrollara el sistema solar fotovoltaico. Como ya contamos con los 2 primeros datos mencionados, entonces también contaremos con los parámetros de los componentes, por ello procedemos a mostrar en la siguiente tabla N°9 los resultados del

dimensionado de los componentes eléctricos para el sistema solar fotovoltaico.

Tabla 9
Dimensionado de componentes eléctricos para el SFV

Parámetro	Variable	Resultado
Estimación de pérdidas	n_T	0.722
Demanda de energía para el generador	E_{gen}	713 Wh/día
Tensión nominal del sistema	V_n	12V
Energía captada por el panel solar	E_{panel}	149,42 Wh/día
Cantidad total de paneles	N_{TP}	5
Cantidad de paneles en serie	N_{PS}	1
Cantidad de paneles en paralelo	N_{PP}	5
Banco de baterías	C_{nb}	110Ah
Regulador de carga	I_{reg}	20A

Fuente: Elaboración propia

La demanda de energía eléctrica en el generador solar (E_{gen}) es de **713 Wh/día** para sorpresa es mayor a la demanda de la energía eléctrica del sistema de medición por sensores strain gauges que habíamos obtenido en la primera parte por **468 Wh/día** y esto es debido a que el diseño del sistema solar fotovoltaico también considera pérdidas por diferentes factores sea la eficiencia de la batería, el rendimiento del regulador, entre otros. Por ello se requiere que el sistema solar fotovoltaica genere una mayor cantidad de energía eléctrica.

De los resultados obtenidos en el dimensionado de los componentes eléctricos para el sistema solar fotovoltaico se desprende que se requiere principalmente lo siguiente:

- ✓ Batería de 110Ah (1unid.): En la siguiente tabla N°10 se mostrará las características de la batería que requiere el sistema solar fotovoltaicos.

Tabla 10

Descripción de la batería

Batería AGM 12V – 110A Victron

Capacidad nominal descarga	20h a 25°C
Tensión (V)	12
Corriente (Ah)	110
Peso (kg)	32
Dimensiones (mm)	330x171x220
Dur.vida 30% descarga (ciclos)	1500
Dur.vida 50% descarga (ciclos)	600
Dur.vida 80% descarga (ciclos)	400

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Paneles solares de 55Wp (5unid.): En la siguiente tabla N°11 se mostrará las características del panel solar que requiere el sistema solar fotovoltaico. Las dimensiones de la estructura del panel solar para el modelo “SOLARA S220P43” que se utilizara en el sistema solar fotovoltaico se encuentran en el anexo N°1 – Ficha técnica del panel solar.

Tabla 11

Descripción del panel solar

Panel Solar “Solara S220P43”

Potencia nominal (Wp)	55 W
Tensión pico (V)	22,88
Corriente pico (A)	2,4
Tensión circuito abierto (V)	27,13
Corriente de cortocircuito (A)	2,54

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Regulador de carga de 20A /12V (1unidad): En la siguiente tabla N°12 se mostrará las características del regulador de carga que requiere el sistema solar fotovoltaico.

Tabla 12

Descripción del regulador de carga

Controlador PWM LCD 20A Must Solar

Salida de Consumo DC (V)	12 - 24
Tensión trabajo (V)	12 - 24
Corriente pico (A)	20A
Garantía (años)	2

Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura N°27 nos muestra una visión general de lo que sería el sistema solar fotovoltaico para el molino de bolas ML601 en C2. Este sistema será encargado de suministrar energía al sistema de medición por sensores strain gauges.

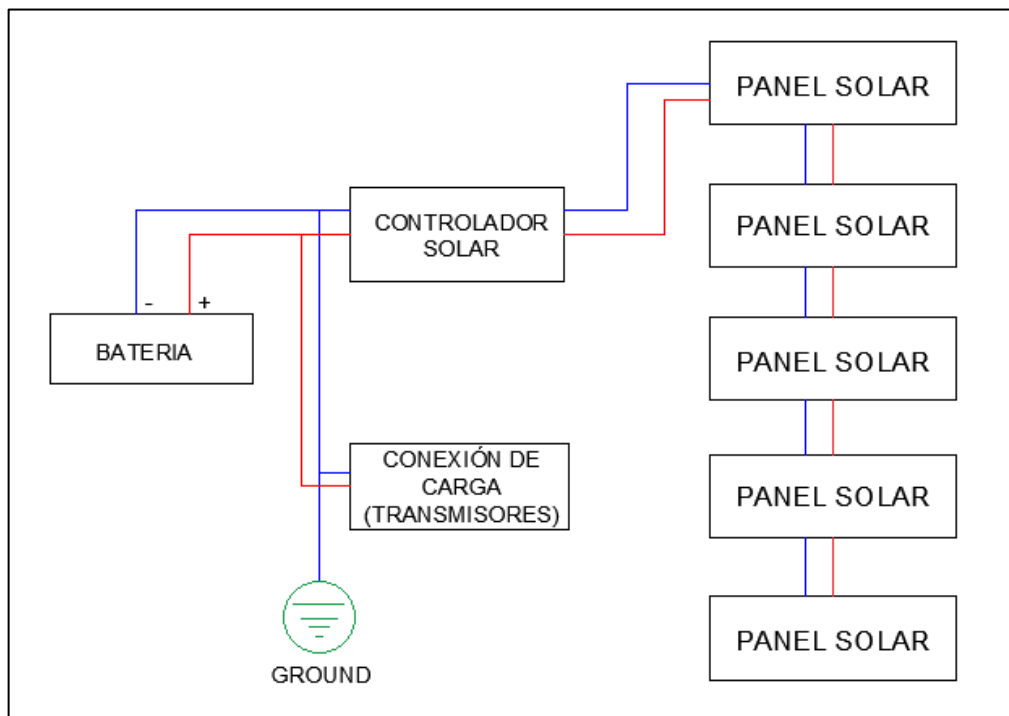


Figura 27. Esquema general del sistema solar fotovoltaico.

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación, el diseño del sistema solar fotovoltaico en el molino de bolas ML601 es factible y su implementación permitirá suministrar energía eléctrica al sistema de medición de sensores strain gauges sin problemas. Reemplazando el modo convencional de suministro de energía eléctrica por pilas a uno de energía inagotable como es el sistema solar fotovoltaico, para el logro de esto se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se logró obtener la demanda de energía eléctrica del sistema de medición compuesto por sensores strain gauges y transmisores inalámbricos, el resultado total es de 468 Wh/día considerando ambos componentes de medición, a pesar de contar con una gran cantidad de sensores strain gauge el consumo de energía es mínimo. Agregar además que, el cálculo de la demanda de la energía eléctrica me permitirá obtener un adecuado dimensionamiento de los paneles solares, ya que a partir de este valor se obtendrá el cálculo de la cantidad de energía eléctrica que deberá suministrar el generador fotovoltaico considerando el rendimiento de los componentes del sistema solar.
- Se consiguió obtener los valores respecto a la climatología del lugar donde se implementará el diseño solar fotovoltaico y esto fue gracias a la fuente reconocida internacionalmente, como es el portal sobre energía solar de la NASA. Las condiciones atmosféricas en el lugar de estudio son favorables con respecto a su radiación solar y benefician en gran medida al sistema solar fotovoltaico que suministrará energía a los sensores strain gauges. Se logró el objetivo obteniendo una Hora Solar Pico (HPS) de 5.18.
- Se logró obtener el dimensionamiento de los componentes eléctricos del sistema solar fotovoltaico, gracias a los cálculos de la demanda total de energía y la Hora Solar Pico, permitiendo seleccionar adecuadamente cada componente del sistema solar según especificaciones eléctricas del fabricante y así se concluye con el diseño del sistema solar fotovoltaico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar en cuenta a todos los componentes que se va suministrar energía eléctrica para tener un dato más preciso de la demanda eléctrica que se exigirá que suministre el diseño del sistema solar fotovoltaico.
- Se recomienda tener conocimientos previos sobre el uso de los aplicativos on-line para búsqueda de datos de irradiación solar, temperatura, y otros que ayuden al análisis de cuanta energía pueden obtener los diferentes tipos de sistemas solares fotovoltaicos en cualquier parte con solo coordenadas geográficas.
- Se recomienda al momento de seleccionar o dimensionar los componentes eléctricos del sistema solar fotovoltaico, verificar que estos sean compatibles de acuerdo a su tensión de trabajo, como es el caso de baterías, reguladores de carga y paneles solares.
- Se recomienda analizar con calma los datos obtenidos de irradiación solar de diferentes aplicaciones on-line ya sea el PVGIS o el POWER DATA ACCESS VIEWER u otro medio porque algunas aplicaciones pueden arrojar los datos mensuales de irradiación solar, en cambio lo que se requiere para obtener el dimensionado de los paneles solares son la irradiación solar diaria en Wh/m² día. Tener cuidado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alzate, E., Montes, J., & Silva, C. (2007). Medidores de deformación por resistencia. Galgas extensiométricas. *Scientia et Technica*, 7-12.
- Baselga, M. (2019). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Editex.
- Cantos, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. España: Ediciones Paraninfo S.A.
- Díaz, T., & Carmona, G. (2019). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España S.L.
- Fernández, L., & Cervantes, A. (2017). *Proyecto de diseño e implementación de un sistema fotovoltaico de interconexión a la red eléctrica en la Universidad Tecnológica de Altamira*. (maestría), Centro de Investigación de Materiales Avanzados, México.
- Fowler, R. (1994). *Electricidad. Principios y aplicación*. Barcelona: Editorial Reverte S.A.
- Hoffman, K. (1989). *Una introducción a la medición mediante bandas extensométricas*. Barcelona: Editor Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH.
- López, Y. (2019). *Implementación de un sistema fotovoltaico aislado para la electrificación de las estaciones base celular de la empresa viettel Perú s.a.c.* (Tesis de pregrado), Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú.
- Marcelo, E. (2019). *Propuesta de implementación de un sistema fotovoltaico para reducir costos de energía en la caseta de bombeo de agua potable de la Universidad Nacional de Piura*. (tesis de pregrado), Universidad Cesar Vallejo, Perú.
- Mendez, J., & Cuervo, R. (2007). *Energía Solar Fotovoltaico*. España: Fundación Confemetal.
- Muñoz, M., & Rojas, J. (2004). *Metrología e instrumentación. Manual de laboratorio*. San José: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Nogales, F. (2015). *Necesidades energéticas y propuestas de instalación solares. UFO2013*. España: Elearning S.L.
- Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica. Manual técnico para instalaciones domiciliarias*. Green Energy Consultoría y Servicios SRL.
- Pareja, M. (2010). *Energía solar fotovoltaica. Calculo de una instalación aislada*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Pérez, M. (2014). *Instrumentación electrónica*. Madrid: Ediciones Paraninfo S.A.

- Preciado, C., & Saldaña, S. (2015). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo centralizado de generación eléctrica en el caserío Briceño, distrito de Motupe, provincia y departamento de Lambayeque*. (tesis de pregrado), Universidad de Sipán, Perú.
- Salamanca, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista Científica*, 263-277.
- Style, O. (2012). *Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo*. España: Oliver Style.
- Villegas, E., & Alcivar, L. (2020). *Diseño de un sistema fotovoltaico para la escuela de educación básica Simón Bolívar en la comunidad Masa 2, Golfo de Guayaquil*. (proyecto de pregrado), Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica del panel solar

WWW.SOLARA.DE

SOLARA®
module. komponenten. systeme

SERIE M DE SOLARA

Calidad premium para uso profesional



CÉLULAS SOLARES ADICIONALES PARA RENDIMIENTOS MÁXIMOS

5 AÑOS DE GARANTÍA DEL PRODUCTO

APARIENCIA Y DISEÑO

- ≥ Estabilidad y máxima disipación de calor gracias a la placa sándwich de aluminio
- ≥ Gracias a la innovadora técnica de encajenamiento celular semiflexible (hasta un 3%) montable
- ≥ **Transitable**
- ≥ Película protectora Nowoflon extremadamente resistente en la parte delantera y trasera
- ≥ Salida de cable especialmente plana y pegada atornillada con descarga de tracción
- ≥ Bien conocido desde hace 20 años
- ≥ Prensaestopas ya preparado en la placa de soporte

MÁXIMA POTENCIA CON LA MÁXIMA CALIDAD

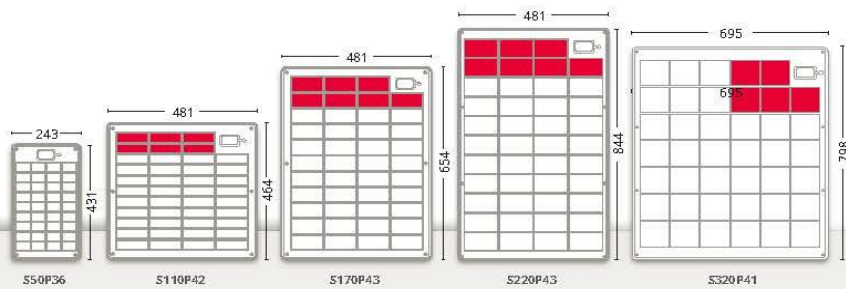
- ≥ Rendimientos extremadamente altos mediante el uso de células cristalinas de alto rendimiento.
- ≥ Rendimiento diario máximo por celdas individuales adicionales
- ≥ Potente rendimiento con poca luz: altos rendimientos incluso en condiciones nubladas y parcialmente sombreadas
- ≥ El protector de celda externo con diodos de derivación ofrece protección contra la celda sobrecalentamiento (puntos calientes) está incluido



NOSOTROS GARANTIZAMOS

- ≥ 5 años de garantía del producto *
- ≥ Hecho en Alemania
- ≥ Número de serie inmutable en el lado delantero

* Condiciones completas de garantía: www.solara.de



HASTA 43 CÉLULAS DE ALTO RENDIMIENTO

RENDIMIENTO E EN STC *

Índice	S50P36 Marino	S110P42 Marino	S170P43 Marino	S220P43 Marino	S320P41 Marina
Potencia diaria en verano en Alemania (Ø) Wh / d Potencia nominal (Pmpp)Wp	50	110	170	220	320
Corriente de cortocircuito (Isc) A Tensión en circuito abierto (Uoc) V Tensión (Umpp) V	12	27	41	55	80
Corriente (Impp) A	0,65	1,29	1,92	2,54	3,84
	22,72	26,50	27,13	27,13	25,87
	19,15	22,34	22,88	22,88	21,81
	0,61	1,22	1,81	2,40	3,62

Dimensiones y peso

Dimensiones (L x B x H) mm	431 x 243 x 3	464 x 481 x 3	654 x 481 x 3	844 x 481 x 3	798 x 695 x 3
Kg de peso	0,9	1,7	2,2	2,8	3,7
Dimensiones de la célula mm	52 x 35	104 x 35	104 x 52	104 x 69	104 x 104

Propiedades termales

TK Pmpp% / K	- 0,45
TK Uoc% / K	- 0,36
TK Isc% / K	0,03
NOCT ° C	46 ± 2

Otros datos técnicos

Voltaje del sistema	24 V
Capacidad de carga de corriente inversa IR	12 A
Precisión de medición Pmpp en STC Espesor del módulo	± 5% 3 mm

Material utilizado

Tecnología celular	Película protectora Novoflon
Anverso / reverso	mono y policristalina extremadamente resistente en la parte delantera y trasera. Sellado en todo el borde
Salida de cable	Salida de cable pequeña, plana, robusta, sellada y atornillada a prueba de agua de mar
Protector de hotspot (externo)	adjunto a los módulos S170P-43, S220P43, S320P41

Fecha: 05/2015. Errores y omisiones excluidos. Reservados el derecho a realizar cambios sin avisos.



* Rendimiento en STC, condiciones de prueba estándar: 1000 W / m²AM 1,5, temperatura de la célula 25 ° C

Anexo 2: Ficha técnica del regulador de carga

Solar System

PWM Solar Charge Controller



Modelo: PC1500B-60DU

PC1500B Series PWM - Regulador carga solar

Características:

- En intensidades 10A 20A 30A 40A 50A 60A.
- Pantalla LCD de fácil lectura.
- Operación sencilla por botones.
- Detección automática de voltaje del sistema.
- Algoritmo carga inteligente PWM.
- Protección ajustable carga-descarga.
- Compensación automática por temperatura.
- Selección de tecnología de batería.
- Protección de corriente inversa de batería.
- Desconexión de batería por bajo voltaje (LVD).
- Protección polaridad invertida en batería.
- Protección por sobre-voltaje.
- Puertos para carga USB en modelos hasta 40A.

Introducción:

Este regulador solar de carga y descarga inteligente tiene una interfaz sencilla y visual gracias a su pantalla LCD de grandes dimensiones. Muchos parámetros de control se pueden ajustar con gran flexibilidad en función de nuestros requisitos.

LCD Información Display



1. Terminal positivo fotovoltaico
2. Terminal negativo fotovoltaico
3. Terminal carga CC positivo
4. Terminal carga CC negativo
5. Pantalla LCD

Nº	Pulsación	Función
5.	Corta	Siguiente visualización; Incremento mientras está en ajustes
	Larga (≥3 s)	Incremento continuo mientras está en ajustes
6.	Corta	Visualización previa; Decremento mientras está en ajustes
	Larga (≥3 s)	Decremento continuo mientras está en ajustes
7.	Corta	Interruptor consumos CC; Entrar configuración / guardar
	Larga (≥3 s)	Entrar/salir menú secundario

Detalles internos



Estabilidad, gran eficiencia, integración



Diseño de circuitería optimizado

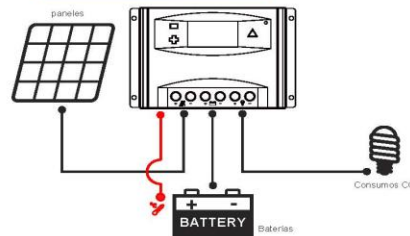


SCM Diseño robusto y fiable



Materiales de gran calidad

Conexión al sistema solar:



Funciones:



PC1500B SERIES Controladores



Modelos: PC1500B-10 y 20A



Voltaje trabajo: 12-24V Auto-detección
Corriente carga: 10A y 20A
Puertos USB: 5V, 1A x 2
Tamaño LCD: 2,2"



Modelos: PC1500B-30 y 40A



Voltaje trabajo: 12-24V Auto-detección
Corriente carga: 30A y 40A
Puertos USB: 5V, 1A x 2
Tamaño LCD: 2,2"



Modelos: PC1500B-50D / 5048D



Voltaje: 12-24V Auto-detección y modelo 48V
Corriente carga: 50A
Tamaño LCD: 2,6"



Modelos: PC1500B-60D / 6048D



Voltaje: 12-24V Auto-detección y modelo 48V
Corriente carga: 60A
Tamaño LCD: 2,6"

Aplicación



Sistemas portátiles, embarcaciones & recreo



Aislada sistema solar casero



Granja solar de generación

	Modelo	PC1500B-10-20		PC1500B-30-40		PC1500B-50-60		PC1500B-6048D		
		Voltaje FV	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A
Entrada	Voltaje sistema	12/24V Auto								48V
	Desconexión por alto voltaje	16.00V x 1/x 2/x 3/x 4 (0.5V)								
	Intensidad descarga nominal	10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A	
	Autoconsumo	≤13mA								≤25mA
	Caída de tensión circuito carga	≤0.24V								≤0.25V
Salida	Caída de tensión circuito descarga	≤0.10V								≤0.10V
	Modo de carga	PWM 4-etapas carga, absorción, flotación, equalización								
	Voltaje Carga Flotación	13.8V (13V~15V) x 1/x 2/x 3/x 4								
	Voltaje Carga Absorción	14.4V (13V~15V) x 1/x 2/x 3/x 4								
	Voltaje Carga Equalización	14.6V (13V~15.5V) x 1/x 2/x 3/x 4								
Características físicas	Protección Bajo Voltaje	10.7V (10V~14V) x 1/x 2/x 3/x 4								
	Reconexión Bajo Voltaje	12.6V (10V~14V) x 1/x 2/x 3/x 4								
	Salida USB	5V, 1A x2				No tiene				
	Sección cableado	≤6mm ²		≤16mm ²		≤16mm ²		≤16mm ²		
	Temperatura trabajo	-20°C~55°C								
Tamaño (L x W x H)	188 x 95 x 46.5mm				196 x 111 x 54mm					
Peso neto	365g				407g					

Anexo 3: Ficha técnica de la batería



Baterías Gel y AGM

Energía Sin Límites

www.victronenergy.com

1. La tecnología VRLA

VRLA son las siglas de Valve Regulated Lead Acid, lo que significa que la batería es hermética. Habrá escape de gas en las válvulas de seguridad únicamente en caso de sobrecarga o de algún fallo de los componentes. Las baterías VRLA no requieren ningún tipo de mantenimiento.

2. Las baterías AGM estancas (VRLA)

AGM son las siglas de Absorbent Glass Mat. En estas baterías, el electrolito se absorbe por capilaridad en una estera en fibra de vidrio situada entre las placas. Tal como se explica en nuestro libro "Energía Sin Límites", las baterías AGM resultan más adecuadas para suministrar corrientes muy elevadas durante periodos cortos (arranque) que las baterías de Gel.

3. Las baterías de Gel estancas (VRLA)

En este tipo de baterías, el electrolito se inmoviliza en forma de gel. Las baterías de Gel tienen por lo general una mayor duración de vida y una mejor capacidad de ciclos que las baterías AGM.

4. Autodescarga escasa

Gracias a la utilización de rejillas de plomo-calcio y materiales de gran pureza, las baterías VRLA Victron se pueden almacenar durante largo tiempo sin necesidad de recarga. El índice de autodescarga es inferior a un 2% al mes, a 20°C. La autodescarga se duplica por cada 10°C de aumento de temperatura. Con un ambiente fresco, las baterías VRLA de Victron se pueden almacenar durante un año sin tener que recargar.

5. Extraordinaria recuperación tras descarga profunda

Las baterías Victron VRLA tienen una extraordinaria capacidad de recuperación incluso tras una descarga profunda o prolongada. Sin embargo, se debe recalcar que las descargas profundas o prolongadas frecuentes tienen una influencia muy negativa en la duración de vida de las baterías de plomo/ácido, y las baterías de Victron no son la excepción.

6. Características de descarga de las baterías

Las capacidades nominales de las baterías de Victron se indican para una descarga de 20 horas, es decir para una corriente de descarga de 0,05C (Gel 'long life': 10 horas). La capacidad real disminuye en descargas más rápidas con intensidades elevadas (ver tabla 1). La reducción de capacidad aún será más rápida con aparatos de potencia constante como por ejemplo los inversores.

Duración de descarga	Voltage Final V	AGM 'Deep Cycle' %	Gel 'Deep Cycle' %	Gel 'Long Life' %
20 horas	10,8	100	100	112
10 horas	10,8	92	87	100
5 horas	10,8	85	80	94
3 horas	10,8	78	73	79
1 hora	9,6	65	61	63
30 minutos	9,6	55	51	45
15 minutos	9,6	42	38	29
10 minutos	9,6	38	34	21
5 minutos	9,6	27	24	
5 segundos		8 C	7 C	

Tabla 1: Capacidad real en función de la capacidad de descarga. (la última línea indica la corriente de descarga máxima autorizada durante 5 segundos).

Nuestras baterías AGM Deep Cycle (ciclo profundo) ofrecen excelentes resultados a alta intensidad y por ello se recomiendan para aplicaciones como el arranque de motores. Debido a su diseño, las baterías de gel tienen una capacidad real menor a alta intensidad. En cambio, las baterías de gel tienen mejor duración de vida en modo flotación y ciclos.

7. Efectos de la temperatura en la duración de vida

Las temperaturas elevadas tienen una influencia muy negativa en la duración de vida. La tabla 2 presenta la duración de vida previsible de las baterías de Victron en función de la temperatura.

Temperatura media de funcionamiento	AGM Deep Cycle años	Gel Deep Cycle años	Gel Long Life años
20°C / 68°F	7 - 10	12	20
30°C / 86°F	4	6	10
40°C / 104°F	2	3	5

Tabla 2: Duración de vida



8. Efectos de la temperatura en la capacidad

El siguiente gráfico muestra que la capacidad disminuye en gran medida a baja temperatura.

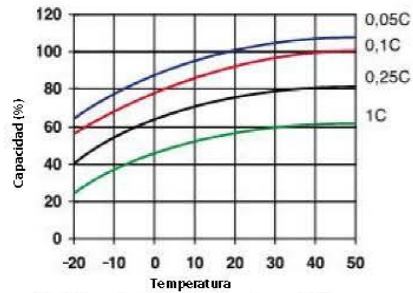


Fig. 1: Efectos de la temperatura en la capacidad

9. Duración de vida en ciclos de las baterías de Victron

Las baterías se gastan debido a las cargas y descargas. El número de ciclos depende de la profundidad de descarga, tal como muestra la figura 2.

■ AGM Deep Cycle ■ Gel Deep Cycle ■ Gel Long Life

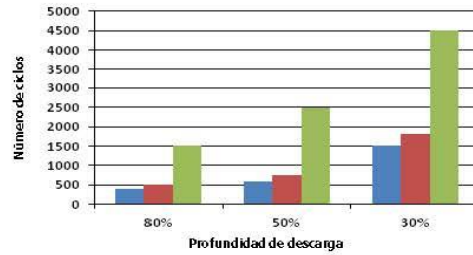


Fig. 2: Duración de vida en ciclos

10. Carga de la batería en modo de ciclos: La característica de carga en 3 etapas

El método de carga más común para las baterías VRLA utilizadas en ciclos es la característica en tres etapas, según la cual una fase de corriente constante (fase "Bulk") va seguida por dos fases con voltaje constante ("Absorción" y "Flotación"). Ver fig. 3.

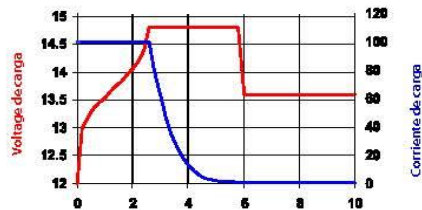


Fig. 3: Régimen de carga en tres etapas

Durante la fase de absorción, el voltaje de carga se mantiene a un nivel relativamente elevado para acabar de cargar la batería en un tiempo razonable. La tercera y última fase es la de mantenimiento (Flotación); el voltaje se reduce a un nivel justamente suficiente para compensar la autodescarga.

Inconvenientes de la carga tradicional en tres etapas:

- **Riesgo de gaseo**
Durante la fase de carga inicial, la corriente se mantiene a un nivel constante y a menudo elevado, incluso por encima del voltaje de gaseo (14,34V para una batería de 12V). Ello puede provocar una presión de gas excesiva en la batería. Puede escaparse gas por las válvulas de seguridad, lo que reduce la duración de vida y presenta un peligro.
- **Duración de carga fija**
El voltaje de absorción aplicado a continuación durante un tiempo fijo no tiene en cuenta el estado de carga inicial de la batería. Una fase de absorción demasiado larga tras una descarga poco profunda sobrecargará la batería, reduciendo una vez más su duración de vida, especialmente debido a la oxidación acelerada de las placas positivas.
- **Nuestros estudios han revelado que la duración de vida de una batería se puede aumentar reduciendo más la tensión de flotación cuando no se utiliza la batería.**

11. Carga de la batería: mejor duración de vida mediante la carga adaptable en 4 etapas de Victron

Victron Energy ha creado la carga adaptable en 4 etapas. Esta tecnología innovadora es resultado de muchos años de investigación y ensayos.

El método de carga adaptable de Victron elimina los 3 principales inconvenientes de la carga tradicional en 3 etapas:

- **Función BatterySafe**
Para evitar el gaseo excesivo, Victron ha inventado la función BatterySafe. La función BatterySafe reduce el aumento del voltaje de carga cuando se alcanza el voltaje de gaseo. Los estudios revelan que dicho procedimiento mantiene el gaseo interno a unos niveles sin peligro.
- **Duración de absorción variable**
El cargador Victron calcula la duración óptima de la fase de absorción en función de la duración de la fase de carga inicial (Bulk). Si la fase Bulk fue corta significa que la batería estaba poco descargada y la duración de absorción se reducirá automáticamente. Una fase de carga inicial más larga dará una duración de absorción también más larga.
- **Función de almacenamiento**
Una vez finalizada la fase de absorción, en principio, la batería está totalmente cargada y el voltaje se reduce hasta un nivel de mantenimiento (Flotación). A continuación, si no se utiliza la batería durante 24 horas, el voltaje se reduce aún más y el cargador de batería pasa al modo de "almacenamiento". Este voltaje de "almacenamiento" reduce al mínimo la oxidación de las placas positivas. Posteriormente, el voltaje aumentará en modo absorción una vez por semana para compensar la autodescarga (función Battery Refresh).

12. Carga en modo flotación: carga de mantenimiento con voltaje constante

Si una batería se descarga profundamente con poca frecuencia, es posible una curva de carga en dos etapas. Durante la primera fase, la batería se carga con una corriente constante pero limitada (fase "Bulk"). Una vez alcanzado un voltaje predeterminado, la batería se mantiene a este voltaje (fase de mantenimiento o "Flotación"). Este método de carga se utiliza en las baterías de arranque a bordo de vehículos y para los sistemas de alimentación sin cortes (onduadores).

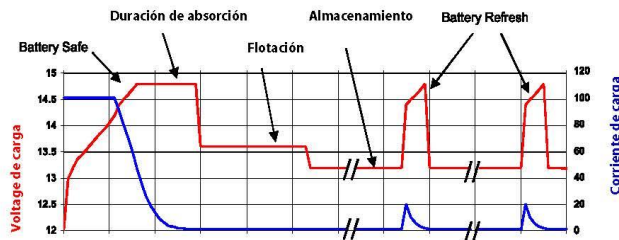


Fig. 4: Carga adaptable en 4 etapas de Victron

14. Efectos de la temperatura en el voltaje de carga

El voltaje de carga se debe reducir a medida que la temperatura aumenta. La compensación de temperatura es necesaria cuando la temperatura de la batería puede ser inferior a 10°C / 50°F o superior a 30°C / 85°F durante un período de tiempo prolongado. La compensación de temperatura recomendada para las baterías Victron VRLA es de -4 mV/elemento (-24 mV/°C para una batería de 12V). El punto medio de compensación de temperatura es de 20°C / 70°F.

15. Corriente de carga

Preferentemente, la corriente de carga no debe superar 0,2 C (20 A para una batería de 100 Ah). La temperatura de una batería aumentará más de 10°C si la corriente de carga es superior a 0,2 C. Así pues, la compensación de temperatura resulta indispensable para corrientes de carga superiores a 0,2 C.

	Utilización en Flotación (V)	Cíodos Normal (V)	Cíodos Recarga rápida (V)
Victron AGM "Deep Cycle"			
Absorción		14,2 - 14,6	14,6 - 14,9
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5
Victron Gel "Deep Cycle"			
Absorción		14,1 - 14,4	
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	
Victron Gel "Long Life"			
Absorción		14,0 - 14,2	
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	

Tabelle 3: Voltajes de carga recomendados

12 Volt Deep Cycle AGM							Especificaciones generales	
Referencia	Ah	V	lxanxl mm	Peso kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Tecnología: flat plate AGM Bornes: cobre, M8	
BAT406225080	240	6	320x176x247	31	1500	480	Capacidad nominal: descarga en 20h a 25°C Dur. de vida en flotación: 7-10 años a 20 °C Dur. de vida en cíodos: 400 cíodos en descarga 80% 600 cíodos en descarga 50% 1500 cíodos en descarga 30%	
BAT212070080	8	12	151x65x101	2,5				
BAT212120080	14	12	151x98x101	4,1				
BAT212200080	22	12	181x77x167	5,8				
BAT412350080	38	12	197x165x170	12,5				
BAT412550080	60	12	229x138x227	20	450	90		
BAT412600080	66	12	258x166x235	24	520	100		
BAT412800080	90	12	350x167x183	27	600	145		
BAT412101080	110	12	330x171x220	32	800	190		
BAT412121080	130	12	410x176x227	38	1000	230		
BAT412151080	165	12	485x172x240	47	1200	320		
BAT412201080	220	12	522x238x240	65	1400	440		

12 Volt Deep Cycle GEL							Especificaciones generales	
Referencia	Ah	V	lxanxl mm	Peso kg	CCA @0°F	RES CAP @80°F	Tecnología: flat plate GEL Bornes: cobre, M8	
BAT412550100	60	12	229x138x227	20	300	80	Capacidad nominal: 20 hr discharge at 25 °C Dur. de vida en flotación: 12 years at 20 °C Dur. de vida en cíodos: 500 cíodos en descarga 80% 750 cíodos en descarga 50% 1800 cíodos en descarga 30%	
BAT412600100	66	12	258x166x235	24	360	90		
BAT412800100	90	12	350x167x183	26	420	130		
BAT412101100	110	12	330x171x220	33	550	180		
BAT412121100	130	12	410x176x227	38	700	230		
BAT412151100	165	12	485x172x240	48	850	320		
BAT412201100	220	12	522x238x240	66	1100	440		

2 Volt Long Life GEL					Especificaciones generales	
Referencia	Ah	V	lxanxl mm	Peso kg	Tecnología: tubular plate GEL Terminales: copper	
BAT702601260	600	2	145x206x688	49	Capacidad nominal: 10 hr discharge at 25 °C Dur. de vida en flotación: 20 years at 20 °C Dur. de vida en cíodos: 1500 cíodos en descarga 80% 2500 cíodos en descarga 50% 4500 cíodos en descarga 30%	
BAT702801260	800	2	210x191x688	65		
BAT702102260	1000	2	210x233x690	80		
BAT702122260	1200	2	210x275x690	93		
BAT702152260	1500	2	210x275x840	115		
BAT702202260	2000	2	215x400x815	155		
BAT702252260	2500	2	215x490x815	200		
BAT702302260	3000	2	215x580x815	235		

Otras capacidades y tipos de bornes: por engargo

Anexo 4: Ficha técnica del transmisor inalámbrico

Traducido del inglés al español - www.onlinedoctranslator.com

Ficha técnica del producto MicroStrain Sensing

V-Link®. 200

Nodo sensor de entrada analógica inalámbrica de 8 canales



El V-Link-200 es un sensor inalámbrico versátil con 4 canales de entrada analógicos diferenciales y 4 de un solo extremo. Incluye PGA integrado, filtrado y un ADC de alta resolución para una medición precisa de una amplia gama de tipos de sensores, incluidos galgas extensiométricas, celdas de carga, transductores de presión y acelerómetros.

Las redes de sensores inalámbricos de Lord eliminan el tiempo y la complejidad de instalar cables de sensores largos. Son rápidos de implementar y proporcionan un rendimiento de datos confiable y sin pérdidas. Se ha demostrado que estas redes funcionan en industrias exigentes donde la adquisición de datos confiable es fundamental.

El software SensorConnect se puede utilizar para la configuración de dispositivos, el monitoreo de datos en vivo y el análisis de datos. SensorCloud es la plataforma opcional basada en la nube de Lord que optimiza la agregación, el análisis y las alertas de datos para los datos de sensores recopilados de redes remotas.



SENSOR DE ALTO RENDIMIENTO

- 4 canales de entrada diferenciales (+/- 156mV)
- 4 canales de entrada de un solo extremo (+/- 10,24 V)
- Sensor de temperatura a bordo
- Filtro de ganancia y anti-aliasing configurable
- Ruido bajo
- Calibración de derivación a bordo para galgas extensiométricas.
- Equilibrado de compensación de puente a bordo
- Terminación de puente instalada de fábrica disponible

RECOPIACIÓN DE DATOS FIABLE

- Redes sin pérdidas, sincronizadas y escalables que utilizan el protocolo LXRS o LXRS +
- Configure de forma remota los nodos y vea los datos del sensor mediante SensorConnect (PC), SensorCloud (web) o MSCL (biblioteca API)

CONFIGURABLE PARA MUCHAS APLICACIONES

- Informar mV o unidades de ingeniería calibradas
- Operación continua, periódica o activada por eventos
- Transmite datos en tiempo real y / o guárdelos en la memoria integrada
- Muestreo continuo de hasta 4KHz
- Registro de datos de hasta 8 KHz, muestreo periódico o activado por eventos

ESCABROSO

- Caja de policarbonato
- Montaje atornillado o en carril DIN
- Temperatura de funcionamiento de 40 ° C a +85 ° C
- Protección ESD 4kV

APLICACIONES

- Detección de tensión, carga, fuerza, presión, aceleración, vibración, desplazamiento o par
- Monitoreo basado en condiciones (CBM)
- Monitoreo de cargas y tensiones estructurales
- Prueba y medición
- Rosetas de galgas extensiométricas



ENGINEERING YOUR SUCCESS.

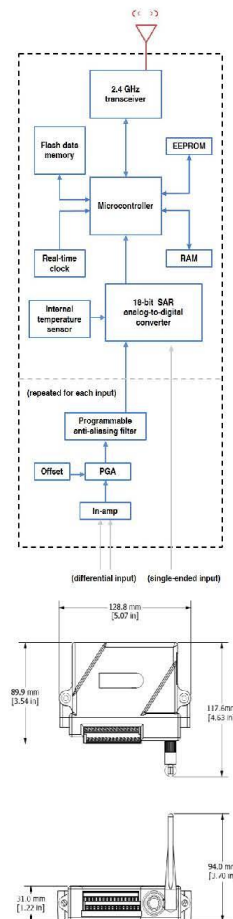
© 2020 Parker Hannifin MicroStrain Sensing. | Documento 8400-0097 Revisión K. | Sujeto a cambios sin previo aviso.

Nodo sensor de entrada analógica inalámbrica de 8 canales

Especificaciones

Canales de entrada analógica	
Entrada de sensor canales	4 diferencial 4 de un solo extremo
Sensores integrados	1 sensor de temperatura
Excitación del sensor	4.096V (hasta 150 mA)
Resolución ADC	18 bits
Precisión	± 0,1% de escala completa típica ±
Ruido	0,02% de escala completa
Temperatura estabilidad	<0,1% de escala completa sobre el rango de
Entrada de sensor banda ancha	temperatura DC a 4KHz
Canales de entrada diferenciales	
Ganancia ajustable	16 hasta 2048
Rango de entrada del sensor	+/- 1,22 mV hasta 156 mV
Filtro antiplegamiento	128 Hz a 4 KHz, segundo orden Butterworth
Calibración de deformación	Resistencia de derivación a bordo utilizada para derivar coeficientes de calibración de deformación lineal
Calibración de derivación	499 k ohmios (+/- 0,1%)
Canales de entrada de un solo extremo	
Entrada de sensor Rangos	± 2,56Vdc, ± 5,12Vdc, ± 10,24Vdc, 0-5,12Vdc, 0-10,24Vdc
Filtro antiplegamiento	- 3dB a 15 KHz
Impedancia de entrada	1 M ohmios
Sensor de temperatura integrado	
Filtro antiplegamiento	- 3dB, 15 kHz
Resolución	0,10 grados C
Muestreo	
Opciones de salida	mV, recuentos de ADC o unidades de ingeniería
Modos de muestreo	calibradas Continua, periódica y activada por eventos
Tasas de muestreo	Muestreo continuo: 1 muestra / hora a 4 KHz Muestreo en ráfagas periódicas: 32 Hz a 8 kHz Evento activado: 32 Hz a 8 kHz
Capacidad de la red	Hasta 128 nodos por puerta de enlace LXRS: 4096 muestras / segundo por puerta de enlace LXRS +: 16k muestras / segundo por puerta de enlace https://www.microtrain.com/configure-your-system
Almacenamiento de datos	
Capacidad	16 MB (5 millones de puntos de datos con tipo de datos de 18 bits) ± 50 uSec
Sincronización de nodo	
Parámetros de operación	
Potencia de la batería	+ 6,0 a + 18,9 Vcc. Recomendar 4x 3,6Vdc, 2,4Ah Litio
Poder externo	+ 7,5 hasta +36 Vcc
Vida útil de la batería	https://www.microtrain.com/wireless/v-link-200
Alcance inalámbrico	Antena externa: 1,5 km máx., 800 m típico. Interior / obstruido: 100 m típico
Frecuencia de radio	De 2,405 a 2,480 GHz, 16 canales, sin licencia
Portador de transceptor	
Potencia de transmisión RF	Configurable por el usuario: 0dBm a 20dBm (pueden aplicarse restricciones regionales)
Temperatura de funcionamiento	-40 hasta + 85 ° C
Distancia	

Resistencia ESD	4kV
Choque mecánico Límite	250 g / 1,5 mS con pilas; 500g / 1.5mS sin baterías instaladas
Especificaciones físicas	
Dimensiones	129 mm x 117,6 mm x 31 mm (incluida la antena)
Peso	283 gramos (con pilas), 217 gramos (sin pilas)
Interfaz	Terminal de tornillo
Integración	
Compatible pasarelas	Todas las puertas de enlace WSDA
Software	SensorCloud, SensorConnect, Windows 7, 8 o 10
(SDK) Software kit de desarrollo	https://www.microtrain.com/software/mscl
Regulador cumplimiento	FCC (EE. UU.), IC (Canadá), MIC (Japón), CE (Unión Europea), ROHS, IMDA (Singapur)



Parker Hannifin Corporation
Detección MicroTrain
459 Hurricane Lane
Williston, VT 05495 • EE. UU.

télefono: +1.802.862.6629
correo electrónico: sensing_sales@LORD.com
sensing_support@LORD.com
www.microtrain.com
www.parker.com

Anexo 5: Datos de Irradiación Solar obtenidos de “POWER DATA ACCESS VIEWER” (Consultado:08/11/21)

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Climatology Climatologies

2-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 2019 - December 2020)

Location: Latitude -16.5589 Longitude -71.5886

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 1940.88 meters

Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999

Parameter(s):

SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Horizontal Surface (kW-hr/m²/day)
 SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15 SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Minus 15 Tilt (kW-hr/m²/day)
 SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Tilt (kW-hr/m²/day)
 SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15 SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Plus 15 Tilt (kW-hr/m²/day)
 SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Vertical Surface (kW-hr/m²/day)
 SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Optimal (kW-hr/m²/day)
 SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Optimal Angle (Degrees)
 SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG_ORT SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Tilted Surface Orientation (N/S Orientation)

-END HEADER-

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	PROM	ANN
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	5.84	5.33	6.03	6.37	5.91	5.57	5.83	6.51	7.02	7.56	7.94	7.28	6.433	-999
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	5.82	5.32	6.05	6.44	6.02	5.7	5.96	6.61	7.07	7.58	7.91	7.25	6.478	-999
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	5.48	5.18	6.12	6.95	6.95	6.83	7.05	7.4	7.39	7.47	7.45	6.72	6.749	-999
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	4.9	4.79	5.89	7.07	7.47	7.55	7.72	7.76	7.31	6.97	6.61	5.86	6.658	-999
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	1.78	1.83	2.61	4.14	5.4	6.04	5.97	5.09	3.63	2.25	1.76	1.87	3.531	-999
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	5.84	5.33	6.13	7.08	7.57	7.82	7.94	7.79	7.41	7.59	7.94	7.28	7.143	-999
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	0	0	12.5	29	42	48	46	36.5	21	5	0	0		-999
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG_ORT	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N		