

Ingeniería Energética General

SISTEMA FOTOVOLTAICO

CÁLCULOS_DISEÑO_DIMENSIONAMIENTO

Aplicado a la Mediana y Pequeña Industria, a los
Centros Comerciales, a los Edificios

Resumen

Concluimos la serie de artículos Instructivos sobre los Sistemas Fotovoltaicos con el contenido de este documento que describe y ejemplifica el procedimiento empleado para calcular, diseñar y con ello dimensionar el equipamiento y los componentes que se integran en el Sistema. En el Instructivo que antecede ya publicado en nuestra Web <http://www.energianow.com>, titulado Sistema_Fotovoltaico_Actualidad_Integracion realizamos una descripción de cada componente, principales características técnicas, así como la actualidad tecnológica de estas tecnologías y los mecanismos de estimulación e incentivo que impulsan su introducción. Otros Instructivos que complementan esta serie, también publicados en la Web son:

- SistemaSolarFotovoltaico_vs_SistemaSolarTermico que realiza una comparación sobre la viabilidad de invertir y el rendimiento integral que se puede tener comparando la energía fósil que sustituyen, considerando el ámbito de aplicación tecnológica de cada uno, los precios actuales de la energía fósil y los niveles de emisiones de GEI que se reducen.
- Componentes Sistema Fotovoltaico. Relación descriptiva y gráfica, con diagramas y fotos de los principales componentes del sistema y sus características principales. Se publicó con Libre Acceso en nuestra Web, en la Sección Herramientas_Tools

Comprobado que es una tecnología de importancia por su desarrollo y aplicación exponencial en el mercado de hoy, además de ser uno de los sistemas ecológicos con mayor grado de beneficio integral, incluyendo la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, es casi obligado para el Ingeniero Energético estar actualizado en las tecnologías fotovoltaicas presentes en el escenario actual, saber en que dirección avanza el desarrollo de estos sistemas, sus precios, eficiencias, principales materiales que lo integran, conocer que se puede esperar del mercado en el corto y mediano plazo y finalmente, dominar como realizar los cálculos para diseñarlos correctamente y dimensionar el equipamiento para poder solicitar las ofertas o seleccionarlos, comprarlos, montarlos y operarlos de manera eficiente. Es por ello que se ha dedicado especial atención a estos sistemas, seleccionado las informaciones con actualidad, se han ordenado y procesado, de manera que puedan ser utilizadas para la aplicación práctica de esta tecnología renovable como sustituta de energía fósil.

El orden del documento comenzará por definir el grado de disponibilidad y autonomía del sistema, el inventario de la carga conectada y los parámetros de los accesorios y aparatos eléctricos a alimentar. A continuación identificaremos las características del panel y calcularemos el número en serie y paralelo que formaran el arreglo de captación para satisfacer la capacidad conectada con el grado de autonomía prefijado. Seguirá el cálculo y dimensionamiento de las baterías que aseguran el nivel de autonomía, la capacidad y características del regulador de voltaje y finalmente dimensionaremos el inversor.

el Autor:

René Ruano es director y fundador de Ingeniería Energética General, tiene más de 30 años de experiencia en la realización de proyectos de Ahorro Energético y de Energías Renovables.

René Ruano is Manager and founder of General Energetic Engineering with more than 30 years making Save Energy and Renewable Energy Project.

Sistema_Fotovoltaico_Cálculos_Diseño_Dimensionamiento

INGENIERÍA ENERGÉTICA GENERAL

IEG: 090220
www.energianow.com

Cáp. y/o Epígrafes	Tema	Página
--	Resumen	2
--	Índice	3
1	Introducción.	4
2	Disponibilidad de los sistemas Fotovoltaicos (FV).	5
3	Dimensionado de los sistemas Fotovoltaicos.	6
4	Carga conectada. Inventario de los aparatos y equipos a abastecer	6
5	Paneles o Generador	8
5.1	Paneles conectados en paralelo, Npp	9
5.2	Paneles conectados en serie, Nps	10
5.3	Paneles en total	11
6	Banco de Baterías.	11
7	Regulador de Voltaje.	12
8	Cálculo del Inverter.	12
9	Resumen de los componentes del sistema fotovoltaico y las especificaciones que hemos seleccionado.	12
10	Referencias.	13

Sistema_Fotovoltaico_Cálculos_Diseño_Dimensionamiento

1. Introducción.

Concluimos la serie de artículos Instructivos sobre los Sistemas Fotovoltaicos con el contenido de este documento que describe y ejemplifica el procedimiento empleado para calcular, diseñar y con ello dimensionar el equipamiento y los componentes que se integran en el Sistema. En el Instructivo que antecede ya publicado en nuestra Web <http://www.energianow.com>, titulado Sistema_Fotovoltaico_Actualidad_Integracion realizamos una descripción de cada componente, principales características técnicas, así como la actualidad tecnológica de estas tecnologías y los mecanismos de estimulación e incentivo que impulsan su introducción. Otros Instructivos que complementan esta serie, también publicados en la Web son:

-) SistemaSolarFotovoltaico_vs_SistemaSolarTermico que realiza una comparación sobre la viabilidad de invertir y el rendimiento integral que se puede tener comparando la energía fósil que sustituyen, los precios actuales y los niveles de emisiones de GEI que se reducen.
-) Componentes Sistema Fotovoltaico. Relación descriptiva y gráfica, con diagramas y fotos de los principales componentes del sistema y sus características principales.

La utilización del Sistema Fotovoltaico (FV) como sistema alternativo ecológico para sustituir la energía producida de los combustibles fósiles, se encuentra en expansión exponencial. Las cifras de crecimiento anual tanto de los valores invertidos como de nuevas capacidades que entran en funcionamiento, así lo demuestran.

Las inversiones abarcan desde simples sistemas residenciales, colocados en cubiertas, paredes y áreas colindantes a las viviendas y edificios, hasta enormes parques fotovoltaicos. Esta expansión creciente ha sido motivada por diversas realidades y herramientas financieras.

- a) La energía eléctrica generada en Plantas Térmicas o Motores de Combustión Interna que emplean combustibles fósiles, es la unidad que más contamina el ambiente puesto que se obtiene en un ciclo térmico donde para producir una unidad de electricidad se requiere mas de 2,5 y hasta 4 unidades de energía. Si el origen es fósil, entonces estamos multiplicando las emisiones de CO₂ a la atmósfera. De ahí que sustituir electricidad fósil es un objetivo priorizado mundialmente.
- b) Es evidente la necesidad de sustituir las energías sucias, principalmente la electricidad fósil por fuentes de energías renovables, limpias. La fotovoltaica es una tecnología que se basa en la captación de la radiación solar, para generar electricidad y no produce emisiones que contaminan la atmósfera.
- c) Este tipo de sistema puede ser instalado en pequeña, mediana y gran escala. Por lo que no depende solo de los grandes aportes de capital. Un ciudadano que esté interesado en generar para su hogar su propia electricidad, partiendo de una fuente renovable y con ello contribuir a limpiar nuestro Planeta, tiene a la mano la posibilidad de instalar un Sistema Fotovoltaico. De igual forma puede invertir en una parcela de un parque fotovoltaico, adquirir un número de paneles y obtener una renta mensual por la venta de los kWh limpios que se genera en ellos.
- d) Es un sistema en constante desarrollo técnico. Se realizan investigaciones en la mayoría de los países, se introducen nuevos materiales, se implantan nuevos procesos y todo con el objetivo de ir abaratando el precio para hacerlos competitivos y aumentar su rentabilidad.

e) Aunque en la actualidad no es rentable la sustitución de la energía eléctrica sucia (muy barata por kWh) por la energía limpia renovable (es caro el valor inicial de inversión) la expansión de estos sistemas se estimula al forzar el escenario económico financiero con la introducción de incentivos y tarifas donde se subsidia el kWh limpio generado. Estos Incentivos o tarifas, principalmente son establecidos para favorecer la introducción de Sistemas Fotovoltaicos. Producto de lo anterior muchos países a nivel mundial (europeos, asiáticos, americanos, Australia y otros) han establecido incentivos o tarifas de apoyo, que ofrecen entre 0,30 y hasta 0,52 EU/kWh generado en estos tipos de sistemas.

Comprobado que es una tecnología de importancia por su desarrollo y aplicación exponencial en el mercado de hoy, además de ser uno de los sistemas ecológicos con mayor grado de beneficio integral, incluyendo la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera, es casi obligado para el Ingeniero Energético estar actualizado en las tecnologías fotovoltaicas presentes en el escenario actual, saber en qué dirección avanza el desarrollo de estos sistemas, sus precios, eficiencias, principales materiales que lo integran, conocer qué se puede esperar del mercado en el corto y mediano plazo y finalmente, dominar cómo realizar los cálculos para diseñarlos correctamente y dimensionar el equipamiento para poder solicitar las ofertas o seleccionarlos, comprarlos, montarlos y operarlos de manera eficiente. Es por ello que se ha dedicado especial atención a estos sistemas, seleccionando las informaciones con actualidad, se han ordenado y procesado, de manera que puedan ser utilizadas para la aplicación práctica de esta tecnología renovable como sustituta de energía fósil.

El orden del documento comenzará por definir el grado de disponibilidad y autonomía del sistema, el inventario de la carga conectada y los parámetros de los accesorios y aparatos eléctricos a alimentar. A continuación definiremos las características del panel y calcularemos el número en serie y paralelo que formarán el arreglo de captación para satisfacer la capacidad conectada con el grado de autonomía prefijado. Continuaremos calculando la cantidad de baterías que aseguren el nivel de autonomía, la capacidad y características del regulador de voltaje y finalmente dimensionaremos el inversor.

2. Disponibilidad de los sistemas Fotovoltaicos (FV).

La disponibilidad del sistema, se define como el porcentaje del tiempo que el sistema de potencia es capaz de mantener los requerimientos de la carga. Un sistema diseñado para un 95 % de disponibilidad, es de esperar que mantenga los requerimientos de la carga el 95 % del tiempo. En los sistemas autónomos en primer lugar la disponibilidad depende del tamaño del banco de baterías. Generalmente en los sistemas autónomos "no críticos" son diseñados con una disponibilidad de un 95%.

En los sistemas, el clima, las fallas y el mantenimiento de los sistemas son las principales causas de la baja disponibilidad. Sin embargo, el costo de los sistemas se incrementa rápidamente cuando se tratan de lograr los mayores porcentajes de disponibilidad, apreciándose un comportamiento exponencial de la curva de Costo vs. Disponibilidad.

Como comparación, una gran variedad de fuentes generadoras de potencia, como el carbón, la nuclear o hidroeléctrica archivan disponibilidad entre el 80-90 %. Importante, para los sistemas fotovoltaicos en el rango comprendido entre 0-80 % de disponibilidad la curva de Costo vs. Disponibilidad muestran un comportamiento lineal.

Algunos diseños de sistemas basan su calculo en especificar una determinada “probabilidad de perdida de carga”, (LOLP, loss-of-load-probability, en Inglés). Por definición LOLP es la probabilidad que en cualquier momento del tiempo, la carga no sea satisfecha por el sistema de almacenamiento fotovoltaico. Como es de notar la LOLP esta directamente relacionada con la “disponibilidad” anteriormente definida, por lo tanto:

$$LOLP = 100-D$$

En el diseño de los sistemas, los requerimientos específicos de la aplicación, la variabilidad del recurso solar en el sitio y el financiamiento disponible son los parámetros determinantes en la disponibilidad del sistema. En los sistemas normales, como es el caso del uso domestico, el método general es diseñar el sistema con disponibilidad “no critica”, incrementando más tarde los componentes del sistema si es necesario y si se dispone de más recursos financieros.

3. Dimensionado de los sistemas Fotovoltaicos.

Tradicionalmente, los métodos simplificado de dimensionado de los sistemas son basados en un balance energético diario con las condiciones mas desfavorables. Resulta conceptualmente más conveniente realizar el balance de carga en Ah/día, en vez de Wh/día ya que se adapta mejor al comportamiento del generador FV y a las baterías durante las variaciones en las condiciones de funcionamiento (las que pueden provocar variaciones de voltajes).

Para estimar el consumo de la carga diario (Ah/día), L , únicamente tenemos que dividir la energía diaria consumida (Wh/día) entre la el voltaje nominal del sistema (V_n), o bien realizar el calculo en base al consumo de corriente diario (A) de cada equipo, en vez de trabajar con los valores de potencia (W)

Además, tenemos que tener en cuenta el número de días máximo de autonomía prevista para el sistema, d , este numero depende de las condiciones climáticas del lugar donde se realizara la instalación.

4. Carga conectada. Inventario de los aparatos y equipos a abastecer

Es simple. Hay que realizar un inventario de todas las cargas que serán alimentadas por el sistema, tanto las que consumen corriente directa (DC), como las de corriente alterna (AC) para determinar la carga conectada en Watt, Watt-h y Amperes-hora. Con esta información iremos dimensionando el sistema, componente a componente.

Para facilitar el trabajo se prepara una Tabla de Registros de la información, separando los equipos de corriente alterna AC de los que demandan DC. La tabla debe contener las siguientes columnas y filas:

Columnas:

1. Equipos
2. Unidades de cada equipo
3. Potencia activa X equipo, Watt
4. Potencia activa conectada, Watt que es igual a la potencia por equipo por el número de equipos

5. Factor de potencia de cada equipo
6. Horas de operación diarias de cada equipo. Por lo general es un estimado.
7. Potencia reactiva conectada. No es mas que la potencia en Watt entre su factor de potencia.
8. Consumo energía diario por equipos. Se determina multiplicando la potencia en Watt por el número de horas de operación de los equipos.
9. Consumo energía reactiva por equipos. Se determina multiplicando la potencia reactiva en VA por las horas de operación de los equipos.

Filas:

1. Listado de equipos separados en DC y AC.
2. Bloque de 110 volt
3. Bloque de 220 volt
4. Totales por equipos DC y AC
5. Total diario
6. Total mensual

A continuación abordamos **un ejemplo**, de manera de poder ejercitar el procedimiento. La **Tabla 1** a continuación registra los detalles del inventario de equipos y aparatos instalados. Las principales características del servicio ejemplo son:

Hay un total de 26 equipos conectados que utilizan la corriente alterna y 4 equipos que funcionan con corriente directa. La carga conectada es de 2965 kW de potencia en aparatos de corriente alterna, que incluyen las tensiones de 110V y de 220 V. En aparatos de corriente directa la carga es de 0,5 kW con tensión de 110 V.

El equipamiento que utiliza corriente alterna consume diariamente 13993 Wh/día de energía activa y 21177 VA/día de energía reactiva. Los aparatos que funcionan con corriente directa consumen diariamente 2000 Wh/día de energía.

Por lo que el Sistema Fotovoltaico que se diseñe tiene que ser capaz de abastecer este servicio, instantánea y diariamente.

Sistema_Fotovoltaico_Cálculos_Diseño_Dimensionamiento

INGENIERÍA ENERGÉTICA GENERAL

IEG: 090220
www.energianow.com

ESTUDIO DE LAS CARGAS ELECTRICAS INSTALADAS Y CONSUMO TOTAL DIARIO PARA UN MES DE VERANO PICO								
CARGAS ALTERNAS		Potencia	Potencia	Factor	Horas Opera	Potencia	Consumo Día	Consumo Día
EQUIPOS	Udad	W	Conec. W	Potencia	Día	Reactiva, VA	Wh/día	VA/día
Tensión 110 VCA								
Lampara	3	20	60	0,6	4	100,00	240	400,00
Lampara	4	40	160	0,6	2	266,67	320	533,33
Bomb Ahorradores	8	15	120	0,8	2	150,00	240	300,00
Lampara Pie	1	15	15	0,8	1	18,75	15	18,75
Lavadora	1	220	220	0,8	1	275,00	220	275,00
Batidora	1	350	350	0,8	0,05	437,50	17,5	21,88
Bomba de Agua	1	600	600	0,7	0,5	857,14	300	428,57
Refrigerador	1	240	240	0,6	24	400,00	5760	9600,00
Ventiladores Mesa	1	100	100	0,7	6	142,86	600	857,14
Ventilador Pedestal	1	120	120	0,7	4	171,43	480	685,71
Ventilador Techo	1	160	160	0,7	2	228,57	320	457,14
TV	1	80	80	0,8	4	100,00	320	400,00
Reloj Radio	1	40	40	0,8	24	50,00	960	1200,00
Tensión 220 VCA								
AA, 220 V	1	700	700	0,7	6	1000,00	4200	6000,00
Total diario		2700,00	2965,00			4197,92	13992,50	21177,53
Total mes de 31 dias en kWh							433,77	656,50
CARGAS CORRIENTE DIRECTA		Potencia	Potencia	Factor	Horas Opera	Potencia	Consumo Día	Consumo Día
EQUIPOS	Udad	W	Conec. W	Potencia	Día	Reactiva, VA	Wh/día	VA/día
Tensión 110 VCD								
Telefono, Fax,	3	20	60		4	60	240	240,00
Horno Calefacción Resisencias	1	440	440		4	440,00	1760	1760,00
Total diario		460,00	500,00			500,00	2000,00	2000,00
Total mes de 31 dias en kWh							62,00	62,00

Tabla 1. Registro de las carga eléctricas conectadas.

5. Paneles o Generador

Determinaremos primero que todo, cuantos paneles se requieren para poder generar la electricidad que demanda el servicio anterior.

Hay situaciones que debemos definir, como es la autonomía del sistema. Cuantos días queremos asegurar para evitar que por días nublados, lluviosos donde el sol no aparezca deje de funcionar el sistema. Tomaremos como **factor de autonomía 3 días**. En la medida que el factor lo asumamos mayor, mas seguridad habrá, pero mas costoso será el sistema.

A la vez hay que considerar que los paneles no tienen el 100% de eficiencia de captación, en ocasiones se ensucian los cristales, hay dispersión de la luz solar, lo pájaros que se posan en él lo ensucian. Por ello la eficiencia es menor a 1, en este tipo de panel. El factor que obtenemos del productor es **0,9**

Debemos seleccionar primeramente el panel que escogeremos para hacer el arreglo. Cada panel tiene sus características técnicas específicas, el voltaje de corriente directa que emite, la potencia, la corriente de corto circuito, la corriente máxima de operación a voltaje abierto y cerrado, datos que se obtienen de la curva I-V del panel, información que entrega el productor. Estos parámetros también miden la calidad de captación de las celdas fotovoltaicas del panel. Asumiremos en nuestro ejemplo un Panel cuyas características técnicas son: 12 VCD / 118 W / $I_{sc}=9,3$ / $I_{max}=8,9$

La corriente que genera el panel pasa a través del Regulador de Voltaje y del Inversor de Corriente, se acumula en las baterías, se conduce por cables, contactos, y el resto de los componentes, que todos mas o menos producen pérdidas de energía. Entonces hay que conocer que eficiencias tienen estos componentes, para así poder dimensionar correctamente el número de paneles que se necesitan. En este ejemplo

despreciaremos, las pérdidas producidas por los cables y contactos, pero que en las aplicaciones reales deben ser calculadas y consideradas. Asumiremos para las baterías 0,85 de eficiencia de carga/descarga, igual para el Inversor de corriente o Inverter.

Una vez elegido el panel, descontando que estamos consciente de la zona donde haremos el montaje, debemos informarnos de cual es la radiación solar media mensual kwh/m^2 , las horas promedios de sol diarias de esa localidad, y según la latitud y longitud, precisar la trayectoria del sol para saber ubicar correctamente los paneles, en azimut y elevación. Lo perfecto sería disponer de una Data con estos registros, con sus valores máximos, medios y mínimos, por cada mes del año. En nuestra Web <http://www.energianow.com> se puede obtener el Instructivo Trayectoria Solar, que contiene el procedimiento a seguir, como construir las herramientas de programación y la forma de registrar los datos obtenidos en el diagrama Solar para el trazado del recorrido del Sol durante el día, referida a una localidad (Latitud, Longitud) día del año.

Otro dato inicial que debemos precisar, es el voltaje al cual operará el sistema, Este parámetro tiene implicaciones en el resto del equipamiento y quedará determinado por el tipo de batería que seleccionaremos para hacer el almacenamiento de electricidad en el sistema. Elegiremos utilizar baterías tubulares con una capacidad específica de C_E 1200Ah / 24VCD, con un voltaje de descarga V_B de 2 volt y una profundidad máxima de descarga del 80% ($P_{md}=0,8$), por lo que el sistema operará a **24VDC**.

La potencia pico del generador fotovoltaico se determina teniendo en cuenta la radiación total diaria incidente sobre la superficie inclinada de los módulos, $G_{dm}(\beta)$, así mismo el rendimiento global de la conversión fotovoltaica se vera afectada por perdidas de conexión, dispersión de parámetros del modulo, acumulación de suciedades en la superficie del modulo, etc. lo que ya vimos anteriormente.

5.1 Paneles conectados en paralelo, N_{pp}

El número de paneles en paralelo N_{pp} , se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$N_{pp} = \frac{L \text{ (Ah/día)}}{(I_{max \text{ panel}} \cdot \text{Horas Solares/día} \cdot \eta_s \cdot \eta_k)}$$

Los datos definidos anteriormente para calcular el número de paneles, son:

Energía que consumen las cargas

Alterna activa	13,993 KWh/día	
Alterna reactiva	21,177 KVA/día	
Directa	2,0 KWh/día	
Voltaje del sistema	24,00 Volt	
Eficiencia de los paneles (η_{gefic})	0,9	
Corriente máxima (I_{max})	8,9 A	
Baterías, eficiencia, (η_{befic})	0,85	
Invertir, eficiencia (η_{iefic})	0,85	
Pérdidas por cables, conexiones, contactos	-	
Horas Solares promedio anuales	5,0	(información Agencia Medioambiente)
Radiación solar media diaria	1,0 kWh/m ²	(información Agencia Medioambiente)

Tengamos en cuenta que no toda la corriente que sale del panel pasa por el Inverter. Solo pasa por ella la corriente que estará destinada al funcionamiento de los aparatos de corriente alterna.

Ahora calculemos la carga del sistema en Ah tanto para todos los aparatos.

Carga en Ah corriente alterna (AC,Ah) = 21177 Wh/día / 24 Volt = 882,32 Ah/día

Carga en Ah corriente directa (CD,Ah) = 2000 W/día / 24 Volt = 83,33 Ah/día

Carga corriente a través del inversor = (AC,Ah/ η_{efic}) = 882,32/0,85=1038 Ah/día

Carga corriente total AC + DC, = 1121,33 Ah/día

Apliquemos la expresión anterior, donde L (Ah/día) son los amperes horarios que el sistema requiere, en nuestro ejemplo 1121,33 Ah/día, cifra que incluye las perdidas por eficiencia del inversor para el caso de la corriente que tiene que ser transformada de directa en alterna. En el denominador de la expresión tenemos el factor corriente máxima que entrega el panel, en nuestro ejemplo es $I_{\text{max}} = 8,9$ A. Hemos conocido las Horas Solares promedio anuales y la Radiación solar media diaria $G_{\text{dm}} (\beta)$, ofrecido por el Centro de Medioambiente de la zona. Los valores de η_{batic} y η_{gatic} son la eficiencia de la batería y la del panel, para nuestro caso 0,85 y 0,9 respectivamente. Ya estamos listos para saber cuantos paneles tendremos que conectar en paralelo para alimentar 1121,33 Ah/día.

Si hacemos el cálculo utilizando la expresión anterior, obtenemos 33 paneles. Como es imposible establecer parejas con un número impar, asumimos 34 paneles.

5.2 Paneles conectados en serie, Nps

Además de asegurar la energía que se requiere en los aparatos consumidores, hay que garantizar que el sistema opere con 24 VDC, puesto que el resto de los equipos que componen el sistema fotovoltaico serán seleccionados para esta condición. Este cálculo es más sencillo y la lógica nos llevará a su solución.

Hemos seleccionado en nuestro ejemplo el Panel 12 VDC / 118 W / $I_{\text{sc}}=9,3$ / $I_{\text{max}}=8,9$. Por lo que si cada panel entrega una diferencia de potencial de 12 VDC, tendremos que colocar 2 en serie, para que esa diferencia de potencial sea igual a los 24 VDC que requerimos. Veamos como debemos proceder para que nuestro cálculo sea exacto:

$$N_{\text{ps}} = \frac{V_n}{V_{\text{np}}}$$

Donde V_n es el voltaje nominal del sistema y V_{np} es el voltaje nominal del panel. El número total de paneles que forma parte del sistema no es más que:

$$N_{\text{ps}} = \frac{24}{12} = 2$$

5.3 Paneles en total

El total de paneles es el producto de los paneles conectados en serie por los conectados en paralelo, para un total de $34 \times 2 = 64$ paneles.

6. Banco de Baterías.

Para el cálculo del banco de baterías es necesario conocer el número de días de autonomía (d) que tendrá nuestro sistema, así como la profundidad máxima de descarga del banco de batería (DOD, en Ingles Depth Of Discharge). Ya habíamos definido en el ejemplo un **factor de autonomía d= 3 días**. También habíamos decidido utilizar baterías tubulares 1200Ah/24VCD por lo que el sistema operará a **24VDC**. Estas tienen una profundidad máxima de descarga del 80% ($P_{md}=0,8$).

La capacidad del banco se calcula mediante la expresión:

$$C_B = \frac{Ah \cdot d}{P_{md}} = \frac{1121,33 \text{ Ah/día} (3)}{0,8} = 4205 \text{ Ah}$$

El número de las baterías en serie se calcula por:

$$N_{bs} = \frac{V_n}{V_B}$$

Donde V_n es el voltaje nominal del sistema, 24 VDC y V_B en voltaje que entrega la batería, anteriormente definida en 2 Volt.

$$N_{bs} = \frac{24}{2} = 12$$

El número de baterías en paralelo se obtiene mediante la expresión:

$$N_{bp} = \frac{C_B}{C_E}$$

Donde C_B es la capacidad del banco y C_E la capacidad específica de la batería

$$N_{bp} = \frac{4205 \text{ Ah}}{1200} = 3,5$$

Por aproximación, se eleva a 4. El banco de baterías estará formado por $12 \times 4 = 48$ baterías.

7. Regulador de Voltaje.

En relación al regulador de carga, su elección se realiza en función de la tensión nominal del sistema y la corriente de máxima generación del arreglo fotovoltaico. El regulador de carga se calcula teniendo en cuenta que este debe soportar al menos un 125 % de la corriente nominal de cortocircuito del generador fotovoltaico (I_{sc}), (en nuestro ejemplo es igual a 9,3) por lo tanto este se determina a través de:

$$I_{reg} = (N_{pp}) (I_{sc}) (1,25) = 34 \times 9,3 \times 1,25 = 395,25 \text{ A}$$

Seleccionando reguladores de 60A, requeriremos $395,25/60 = 6,59$ unidades, aproximando a 7 unidades.

8. Cálculo del Inverter.

El calculo del inversor de manera general no esta sujeto a ninguna expresión matemática en particular.

La elección de este depende fundamentalmente del tipo de carga que será alimentada, y se basa en el hecho de que la potencia instantánea que se desee alimentar sea inferior o a lo sumo igual que la potencia que puede entregar el inversor. En nuestro ejemplo, volvemos a la Tabla 1 y comprobamos que la potencia que debemos alimentar al inversor, la que está relacionada con las cargas de corriente alterna (AC) equivale a 4192,7 VA, por lo que la capacidad del Inversor tiene que sobrepasar este valor de potencia para que asegure el valor instantáneo de demanda.

9. Resumen de los componentes del sistema fotovoltaico y las especificaciones que hemos seleccionado.

Item	Descripción	Udad	Cantidad	Especificaciones
1	Paneles	u	34 X 2= 64	Panel I 150S (12 VCD / 118 W / $I_{sc}=9,3$ / $I_{max} = 8,9$)
2	Baterías	u	12 X 4 =48	tubulares $C_E = 1200Ah/24VCD$, $P_{md}=0,8$, $V_B = 2$ Volt
3	Regulador	u	7	$I_{reg} = 60 \text{ A}$
4	Inverter	U	1	Pot react. > 4192,7 VA
5	Cables	Próximos documentos informativos.		
6	Controles, otros			

10. Referencias.

- ✚ <http://www.py.unsw.edu.au/>. University of New South Wales. Photovoltaics: Devices, Systems and Applications. Christiana Honsberg & Stuart Borden.
- ✚ Fotovoltaicos: Fundamentos y Aplicaciones. Conferencias IMRE, Universidad de La Habana. Cuba
- ✚ <http://www.sel.me.wisc.edu/>. University Wisconsin-Madison Solar Energy Laboratory
- ✚ <http://www.sij.fh-aachen.de/> Solar Institut Juelich Germany.
- ✚ <http://www.ases.org>. American Solar Energy Society
- ✚ <http://www.ies-def.upm.es/> Institute of energy and sustainable development
- ✚ <http://www.nrel.gov/ncpv/> National Center for Photovoltaics
- ✚ <http://userwww.sfsu.edu/~ciotola/solar/> National Solar Power Research Institute, Inc.
- ✚ <http://www.nmsea.org/> New Mexico Solar Energy Association
- ✚ <http://www.ncsc.ncsu.edu/> North Carolina Solar Center
- ✚ <http://www.photonics.com> Photonics Spectra Magazine
- ✚ <http://www.solarenergycentre.com/> Solar Energy Centre Denmark
- ✚ <http://rredc.nrel.gov/solar/> Solar Radiation Resource Information
- ✚ <http://www.ecobuild.com/> EcoBuild
- ✚ <http://www.ujaen.es/investiga/solar> Guía Solar GreenPeace 2003
- ✚ <http://www.ece.gatech.edu/research/UCEP/> University of Florida - Solar Energy and Energy Conversion Laboratory
- ✚ <http://www.eere.energy.gov/> U.S. Department of Energy Photovoltaics Program
- ✚ <http://www.renewable-energy-world.com> Renewable Energy World. Magazine
- ✚ <http://www.ipcc.ch> IPCC - OMM – PNUMA
- ✚ <http://www.cospp.com/> Cogeneration & On-Site Power



Sobre el Autor: René Ruano Domínguez tiene mas de 30 años de experiencia en actuaciones en sistemas y equipos energéticos, tanto en los que utilizan energía fósil como fuentes renovables. Se inició como operador, posteriormente tecnólogo y Gerente Técnico en la Industria de Conversión y Refinación de los Combustibles. Ha sido fundador y Gerente Técnico de varios Equipos de Ingeniería Energética dirigidos al Proyecto, Montaje y los Servicios Técnicos en los Sistemas de Calor y Frío, abarcando la generación, distribución y uso del vapor y el agua caliente en mediana y pequeñas instalaciones, hasta 10 bar de presión; y en los sistemas de Frío las bajas temperaturas (refrigeración y producción de hielo industrial), medianas temperaturas (conservación) y altas temperaturas (Aire Acondicionado) para instalaciones industriales y comerciales. Ha realizado múltiples actuaciones en proyectos, ejecución y servicios de Ingeniería Energética General.