

SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

CONTINUO

Un sistema de suministro de energía eléctrica alterna continuo es aquel que incorpora una batería recargable y dispositivos de recarga como lo son los paneles solares y los generadores eólicos, en el momento en que se suspende el suministro de la energía eléctrica comercial, un relevador activa el paso de corriente de la batería y por medio de un inversor se lleva a cabo la conversión de DC a AC que se conecta a la toma de corriente residencial. Cuando se restablece la corriente el relevador interrumpe el paso de la batería y comienza a recargar la misma.

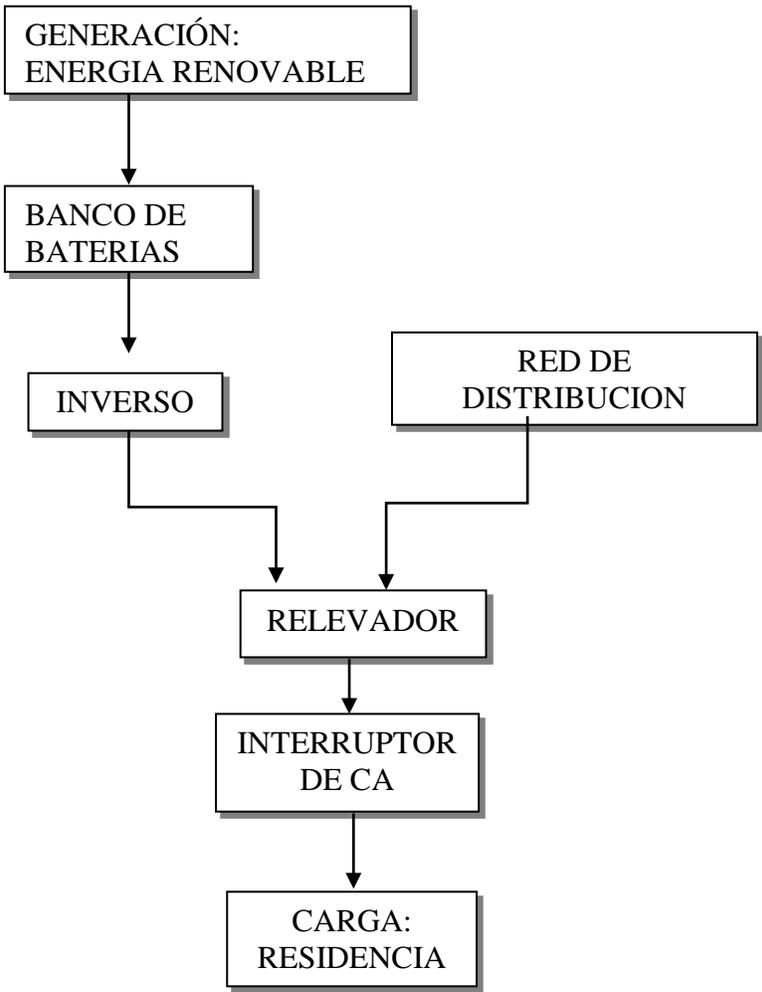


Figura 6.1. Diagrama a bloques de un Sistema de Suministro de Energía Continuo.

6.2 Diseño del Sistema.

El análisis detallado de la carga representa el primer paso en la secuencia de diseño, por tal motivo deben conocerse los numerosos detalles que afectan el valor y el régimen de uso de la energía del sistema en consideración. La mayor dificultad en el diseño es la determinación correcta del valor energético a generarse y acumularse, si existe un banco de baterías. Cuando estos valores son calculados correctamente, el sistema resultante tendrá un funcionamiento eficiente y el mayor grado de fiabilidad posible.

Siguiendo el diagrama a bloques de la figura 6.1.

6.3 Generación.

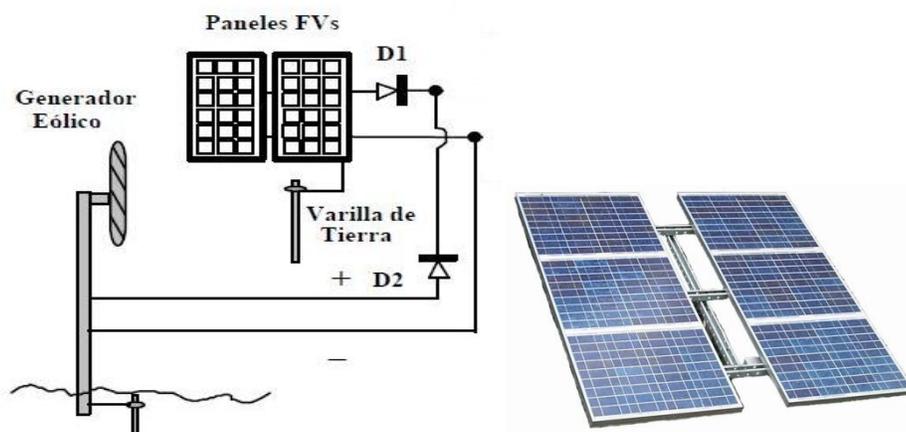


Figura 6.2. Generador Eólico y paneles solares.

El bloque de Generación está compuesto de 2 tipos de fuentes de energía renovable vistos en el capítulo 3: la energía solar y energía eólica. Para la elección de uno o los dos tipos de energía depende de varios factores, en el caso de la energía solar la insolación del lugar, el valor energético de la carga y la máxima potencia de salida por panel. Su acción es equivalente al de un generador de CD alimentado por la luz solar, la mayor parte de la energía eléctrica que generan es acumulada en las baterías. Decimos **la mayor parte** ya que es imposible acumular toda la energía generada, debido a las pérdidas asociadas con el proceso de carga.

Existen varios fabricantes de paneles solares, uno importante es Kyocera que maneja dos versiones de paneles.

Paneles solares Kyocera.

Producto	Descripción	Precio (DlIs)
KC-40	40 Watts, 12 Vdc,	\$234.00
KC-50T	50 Watts, 12 Vdc,	\$ 285.00
KC-65T	65 Watts, 12 Vdc,	\$ 365.00
KC-85T	85 Watts, 12 Vdc,	\$ 460.00
KC-130TM	130 Watts, 12 Vdc,	\$ 625.00
KD-135GX-LP	135 Watts, 12 Vdc,	\$ 650.00
KD-180GX-LP	180 Watts, 24 Vdc,	\$ 796.50
KD205GX-LP	205 Watts, 24 Vdc,	\$ 891.50
KD210GX-LP	210 Watts, 24 Vdc,	\$ 935.00

Tabla 6.1. Paneles Kyocera.

Cables de conexión.

El cable de conexión representa el componente indispensable para el transporte de la energía eléctrica entre los diferentes bloques que integran un sistema FV. Resulta inevitable que parte de esta energía se pierda en forma de calor, ya que la resistencia eléctrica de un conductor nunca es nula. El material más indicado para la fabricación de un cable conductor representa un compromiso entre un bajo valor de resistividad y el costo del mismo. El cobre ofrece hoy día la mejor solución.

La resistencia eléctrica de un material conductor está dada por la expresión:

$$R = (\rho \cdot L)/A$$

Donde r (rho) representa el valor de resistividad lineal ($\Omega \cdot m$), L es el largo del conductor (m), y A es el área de la sección del mismo (m^2). La dependencia entre el diámetro y el área del

conductor permite establecer un método de clasificación para los cables. A determinados diámetros se les asigna un número en una escala, al que se conoce como el calibre del conductor. Esta escala se le conoce como el AWG (*American Wire Gauge*, calibre americano para conductores), y es utilizada dentro y fuera de los EEUU. El rango de calibres para nuestra aplicación comienza con el calibre 4/0 (4 ceros), al que corresponde el mayor diámetro. El número de ceros disminuye hasta alcanzar el valor 1/0. A partir de este valor el calibre del cable está asociado a un valor numérico creciente (2, 4, 6, etc.). Es importante recordar que para estos calibres el diámetro del conductor se **reduce** cuando el valor numérico asignado **aumenta**. Para nuestra aplicación el máximo valor numérico que se utiliza es el 16, ya que la resistencia eléctrica por unidad de longitud resulta excesiva para calibres superiores a este valor.

Los conectores que cumplen con nuestro objetivo son los conectores MC de Kyocera, que tienen la función de unir celdas para hacer arreglos y obtener una mayor potencia de salida:

	Precio (DlIs)
Conector MC de 2.5 metros para conexiones en serie	\$ 13.00
Conector MC de 5 metros para conexiones en serie	\$ 17.00
Conector MC de 10 metros para conexiones en serie	\$ 23.00
Conector MC de 58 cm para conexión en paralelo	\$ 55.00

Tabla 6.2. Conectores Kyocera.

Es importante recordar que en el capítulo 3 mencionábamos que si los paneles permanecen parcialmente sombreados durante una parte del día, su capacidad generadora sufre sensiblemente, ya que la parte sombreada equivale a conectar un alto valor de resistencia en serie con el generador.

6.4 Baterías.



Figura 6.3. Batería.

El bloque de Acumulación contiene tres componentes: el banco de baterías, el control de carga y el fusible de protección. Como se hace referencia en el apartado “Sistemas de Acumulación” (capítulo 4), el banco de acumulación usa un tipo de batería del tipo plomo-ácido. Estas se ofrecen en versiones de 6 y 12V, en ocasiones podemos encontrar dos baterías de 6V conectadas en serie, en un sistema de 12V nominales. El control de carga cumple dos funciones: garantiza un régimen de carga adecuado para las baterías, y evita la descarga de las mismas a través de los paneles, cuando el voltaje de salida es nulo. Su función es análoga a la del sistema de carga de batería en un automóvil. Si no se usara un control el régimen de carga podría sobrecargar las baterías, esta condición acortaría la vida útil de las mismas.

Muchos fabricantes de controles de carga adicionan, en algunos modelos, funciones auxiliares dentro del producto. La más común es la de monitorización del proceso de carga. El fusible de baterías es incorporado al sistema como un elemento de seguridad. Aún cuando el banco consista de una sola unidad, un cortocircuito accidental entre los bornes de salida significa que la corriente que circula por la batería alcanzará valores de **miles de amperes**, por varios segundos, acelerando la reacción química y disipación de calor dentro de la misma. Los gases generados no escapan en su totalidad, llegando a producir una violenta explosión. Como las baterías utilizan electrolitos altamente corrosivos, las consecuencias pueden ser trágicas. Cortocircuitos que no terminan en explosiones acortan la vida útil de las baterías y pueden dañar el aislante de los cables de conexión (excesivas pérdidas de calor).

Modelo	Características	Precio en Dlls.
T-105	6 volts, 225 Amp-hr y 28 kgs	\$125.00
T-145	6 volts, 244 Amp-hr y 33 kgs	\$200.00
J305G-AC	6 volts, 315 Amp-hr y 40 kgs	\$235.00
J305H-AC	6 volts, 360 Amp-hr y 45 kgs	\$295.00
L16P-AC	6 volts, 420 Amp-hr y 52 kgs	\$315.00
L16H-AC	6 volts, 435 Amp-hr y 57 kgs	\$335.00
SCS225	12 volts, 130 Amp-hr y 30 kgs	\$175.00
27TMX	12 volts, 105 Amp-hr y 23 kgs	\$135.00
31-AGM	12 volts, 110 Amp-hr y 34 kgs	\$225.00

Tabla 6.3 Baterías Trojan.

6.5 Inversor.



Figura 6.4. Inversor.

En el capítulo 5 tratamos que para poder operar una carga de CA en un sistema de CD, se necesita transformar a este último voltaje en otro de CA. Esta transformación es llevada a cabo por el inversor. La conversión de DC a AC se lleva a cabo con una eficiencia que oscila entre el 75 y el 91 %. Esto significa que las pérdidas varían entre el 25 y el 9% de la potencia suministrada a la entrada. Los valores porcentuales más elevados corresponden a los modelos que manejan un bajo valor de potencia. Esto se debe a que el consumo del circuito del inversor no crece proporcionalmente con el aumento de la potencia que éste puede manejar.

Porcentualmente, estas pérdidas representan un menor valor cuando la potencia que maneja el inversor se eleva. Modelos de 100 a 200 W pierden entre 20 y 25 %. Modelos de más de 400 W pierden entre el 9 y el 15 %. Dentro del rango de trabajo especificado para la unidad, el porcentaje de pérdida varía con la carga. Cuando se realiza el diseño de un sistema, la determinación del número de Wh/d de la carga de CA se le adiciona las pérdidas del inversor. Una vez determinada la potencia total de trabajo y agregando un 25% a este valor (equivalente a las pérdidas), se determina el valor de la potencia de trabajo que deberá manejar el inversor.

En la siguiente tabla se muestran especificaciones y precios de inversores marca Invercom:

Entrada VDC	Salida VAC	Watts máximo	Watts continuo	Precio en M.N. \$.
12	120	2400	800	3990
24	120	2400	800	3990
12	220	2400	800	3990
24	220	2400	800	3990
12	120	3600	1200	4950
24	120	3600	1200	4950
12	220	3600	1200	4950
24	220	3600	1200	4950
12	120	4500	1500	5750
24	120	4500	1500	5750
12	220	4500	1500	5750
24	220	4500	1500	5750

Tabla 6.4 Inversores Invercom.

Existen numerosas opciones que deberán ser evaluadas para cada sistema y presupuesto. La incorporación de instrumental de medida, la conversión del inversor en un cargador de baterías cuando se conecta un generador externo, o la posibilidad de cambiar, automáticamente, la fuente generadora que lo alimenta, son algunas de las más comunes.

6.6 Conmutación Automática (Relevador).

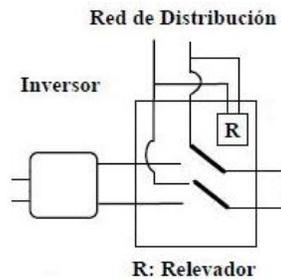


Figura 6.5 Relevador.

La llave conmutadora está activada por el relevador, el que está permanentemente conectado a la Red de Distribución Comercial. Cuando ésta es activada, el conmutador conecta la carga a la misma. Durante las horas en que permanece inactivo el relevador vuelve a su posición de reposo, reconectando la salida del inversor al circuito de entrada de la casa. Es común que este tipo de conmutador esté integrado dentro de la caja del inversor, ya que se ofrece como una de las opciones.

6.7 Interruptor CA y Carga.

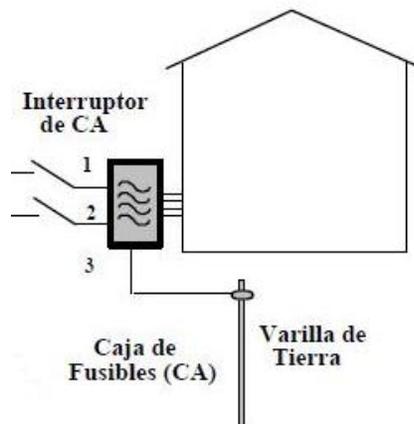


Figura 6.6. Interruptor CA y Carga.

Este bloque consiste en un interruptor bipolar de entrada. Si no lo tuviere, se necesitaría agregar una caja adicional para el mismo, que corte los dos polos (vivo y neutro). Los fusibles para CA son los automáticos (*breakers*), los que se conectan, a presión, entre dos filas de contactos. Estos están agrupados en dos secciones, una por cada fase del sistema de distribución domiciliario

comercial. Hacia un costado, o cerca de la parte inferior de la caja, existe una barra de cobre con tornillos donde se conectan las conexiones a tierra. Si el sistema de CA sólo tiene un inversor, las dos filas de conectores que corresponden al “vivo” son conectadas entre sí. Si se agrega otro inversor, cada hilera de “vivos” puede ser conectada a la salida de uno de los inversores, los que comparten el común. El cable de tierra no tiene aislamiento y debido a su calibre, suele ser multi-alambre.

El bloque denominado CARGA representa los circuitos de entrada de una casa, como se menciona en el primer capítulo en donde se describe el sistema eléctrico residencial, al realizar un análisis de la cantidad de potencia que necesita cada circuito en una residencia nos permite la separación de las áreas de consumo. Esto a su vez facilita la desconexión de una sección en caso de necesitarse reparar o ampliar esa parte del circuito. Así mismo esta opción nos permite conocer cuando alguna sección sufre un cortocircuito además de que con ello conoceremos, qué protecciones son necesarias para evitar que nuestro sistema sufra daños irreparables.

El resultado final es la unión de estos bloques, y el sistema queda representado por el siguiente esquema:

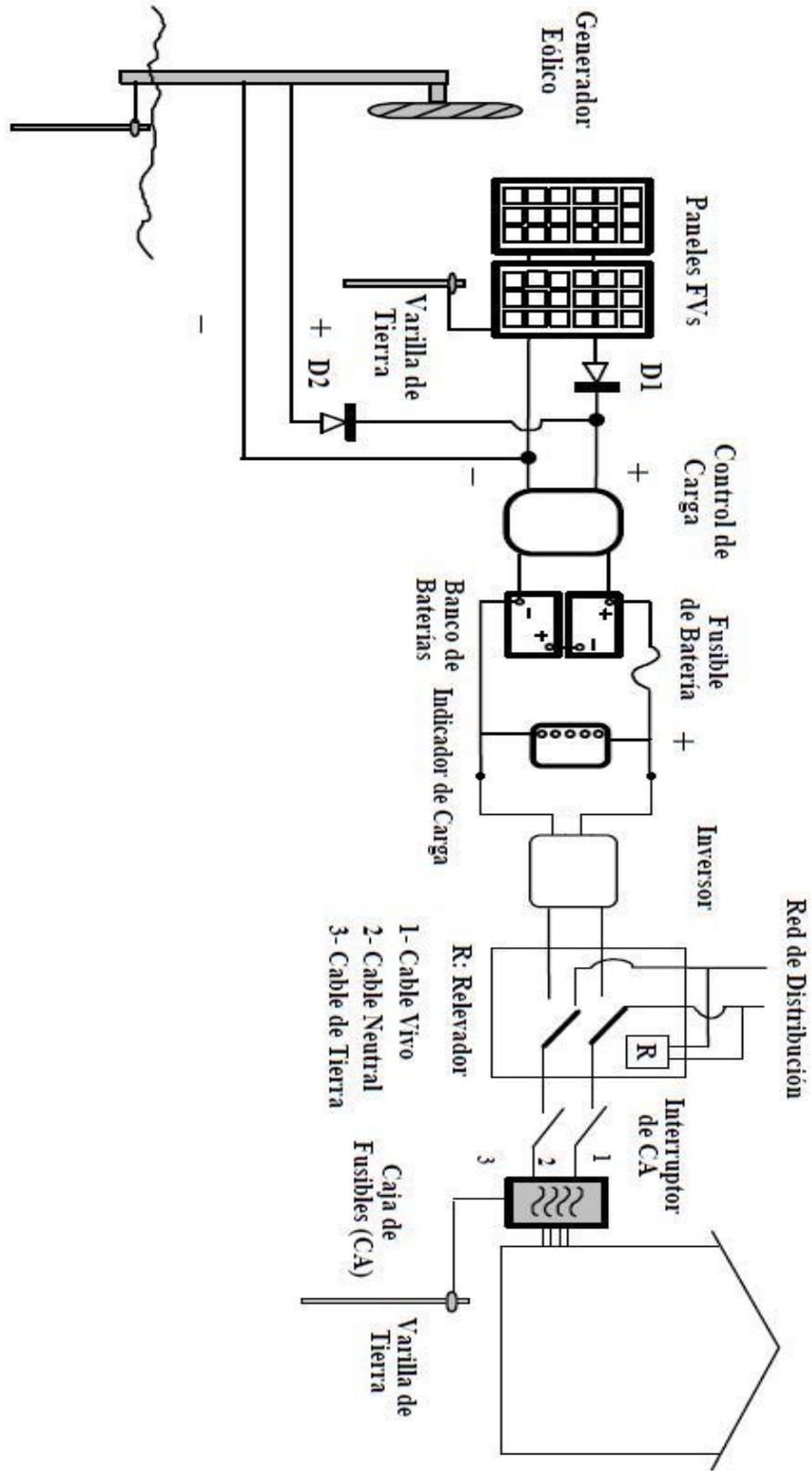


Figura 6.7. Sistema de Suministro de Energía Eléctrico Continuo

6.8 Caso práctico.

Para la aplicación práctica de este sistema, consideraremos un departamento que es habitado por dos estudiantes universitarios. Este inmueble consta de 2 cuartos, un baño, una cocina y una pequeña sala.

Como primer paso se realiza un estudio para determinar la cantidad de radiación solar disponible, después necesitamos determinar la cantidad de las cargas a las cuales les vamos a suplir la energía. La unidad de medida podrá ser watts hora o amp hora. Normalmente se usa watts hora.

La instalación eléctrica del departamento tiene como diseño eléctrico 2 circuitos derivados que alimentan los siguientes equipos electrónicos:

Aparato	Potencia por aparatos [w/h]	Número de aparatos.	Potencia total [w/h]	Tiempo de uso [min]	Potencia Total en 2 hrs [w/h]	Potencia Pico [w/h]
Video Juego	150	1	150	5	12.5	450
Estéreo	75	1	75	5	6.25	225
Televisor a color	150	1	150	20	50	450
Licuadaora	350	1	350	5	30	1050
Refrigerador estándar	400	1	400	120	800	1200
Foco Ahorrador	20	4	100	60	20	300
Computadora	150	1	150	120	300	450
Modem inalámbrico	25	1	25	24	25	75
Laptop	100	1	100	30	50	300
Total			1500	Total	1292	4500

Tabla 6.5 Primer circuito derivado

Aparato	Potencia por aparato[w/h]	Número de aparato.	Potencia total [w/h]
Lavadora	1200	1	1200
Ventilador	100	1	100
Horno de microondas	1200	1	1200
Foco Ahorrador	20	1	20
Total			2520

Tabla 6.6 Segundo circuito derivado

El procedimiento a seguir es igual para todos los sistemas, no importando si este es un comercio o una casa. Lo que se necesita conocer es la energía eléctrica que se consume por los equipos a respaldar en watts hora, mostrado en la tabla 6.5. Conociendo los datos, nos permitirá conocer cuántos módulos o generadores eólicos y baterías se necesitarán para el sistema.

En el primer circuito derivado contamos con aparatos de bajo consumo y que son indispensables respaldar.

En el segundo circuito derivado contamos con aparatos de gran consumo y que no son necesarios respaldar.

Nuestro objetivo es respaldar a los aparatos del primer circuito derivado durante 2 horas. En estas dos horas se consumen aproximadamente **1300 [w/h]** (tabla 6.5), este valor será de utilidad para el cálculo de las baterías.

Siguiendo nuestro sistema de respaldo mostrado en la **figura 6.7** Comenzamos con la descripción de nuestro departamento. El centro de carga es el equipo que se utiliza para dividir y proteger circuitos eléctricos para la alimentación de alumbrado y contactos, también es parte primordial para evitar que se dañe nuestro sistema de respaldo si ocurre alguna falla en cualquiera

de nuestros circuitos. Los centro de carga de 1, 2 y 4 circuitos derivados son utilizados para todo tipo de servicio de instalaciones eléctricas. Para nuestro caso aplica el de dos circuitos que se muestra en la Figura 6.8.



Figura 6.8. Centro de carga ISA

En nuestro departamento por la cantidad de amperes que consume nuestro circuito por hora **se emplean interruptores Termomagnéticos** (Figura 6.9) de uno y dos polos, de un rango de 15 a 50 amperes y que son utilizados para todo tipo de servicios de instalaciones eléctricas, principalmente de uso doméstico y comercial.

Haciendo el análisis de corriente para cada circuito tenemos que:

Primer circuito.

$$W = V * I$$

$$1500 [w/h] = 120 [VAC] * I$$

$$I = 12.5 [A] \text{ para el primer circuito. } \rightarrow 15 [A]$$

ITM115N

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO

DE 1 POLO 15 AMPERES

120 VCA

Segundo circuito.

$$2520 \text{ [w/h]} = 120 \text{ [VAC]} * I$$

$I = 21 \text{ [A]}$ Para el segundo circuito $\rightarrow 25 \text{ [A]}$ un polo

ITM120N

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO

DE 1 POLO 20 AMPERES

120 VCA



Figura 6.9. Interruptores termomagnéticos ISA

El siguiente elemento del sistema de respaldo es el relevador que solo será conectado en el primer circuito (ya que es el único que respaldaremos). Este debe cumplir con la siguiente especificación: 1 relevador de 120 VAC y doble contacto.

Para escoger los siguientes elementos de nuestro sistema partiremos del inversor ya que es el punto de referencia. De la Tabla 6.6 observamos que podemos utilizar diferentes inversores. Tenemos que tener en cuenta que este debe suministrar una potencia continua de 1500 [w/h], un voltaje de salida de 120 VAC y soportar un pico de 4500 [w/h].

De la tabla 6.6 observamos que contamos con los siguientes inversores que se adaptan a nuestras necesidades.

VDC (IN)	VAC (OUT)	Potencia pico [w]
12	120	4500
24	120	4500
48	120	4500
120	120	4500

Tabla 6.6 Inversores que cumplen con las necesidades.

A continuación se presentará una tabla donde se calcularán los elementos restantes (baterías, celdas solares y conectores) a partir de los 4 inversores de la tabla anterior. En esta tabla también se calculará el precio del costo de nuestro sistema así como el tiempo de respaldo.

Nota.

Es importante resaltar que estos valores están calculados para un caso ideal (caso sin pérdidas) ya que cada elemento, dependiendo del proveedor y modelo, maneja un porcentaje de eficiencia cercano al 100%.

INVERSORES	INVERSOR 12	INVERSOR 24	INVERSOR 48	INVERSOR 120
	VDC	VDC	VDC	VDC
VDC (IN)	12	24	48	120
VAC (OUT)	120	120	120	120
P. P [w]	4500	4500	4500	4500
P. C [w]	1500	1500	1500	1500
Precio en \$	5750	5750	6050	7000
Amper hora	108.33	54.167	27.083	10.833
Batería TROJAN	31-AGM	31-AGM	31-AGM	31-AGM
Características Baterías	12volts 110 A-hr	12volts 110 A-hr	12volts 110 A-hr	12volts 110 A-hr
Precio en \$	2925	2925	2925	2925
Número de Baterías	1	2	4	10
Celda KYOCERA	KD210GX-LP	KD-135GX-LP	KD-135GX-LP	KD-135GX-LP
Características Celdas	135watts 12 Vdc	210watts 24 Vdc	210watts 24 Vdc	210watts 24 Vdc
Precio en \$	8450	12155	12155	12155
Número de Celdas	1	1	2	5
Conectores MC 2.5 [m]	0	0	1	5
Precio en \$	0	0	338	845
Tiempo de respaldo [hrs]	1.02	2.03	4.06	10.15
Costo total en \$	17125	23755	36548	101250

Tabla 6.7. Comparativa.

 Características
inversor

Como se observa en la tabla 6.7, la opción del inversor de 24 VDC es el que se adecua más a nuestras necesidades ya que cumple con el tiempo de respaldo y el que menor inversión necesita

Obtención de los valores de la tabla 6.7.

Amper hora.

El valor de la columna Amper hora corresponde a la cantidad de corriente que demandará la carga conectada al inversor por un promedio de 2 horas. Tomando que en esas dos horas se consumirá 1292 w (tabla 6.4) podemos aproximar o cerrar este valor a 1300 w por 2 horas.

$$I = \frac{\text{Potencia consumida en 2 horas}}{\text{Voltaje Vdc del inversor.}}$$

$$I = \frac{1300}{24} \approx 55 \text{ [A]}$$

Baterías.

Para esta columna nos basamos en la tabla de baterías y de las características de estas se eligió el modelo 31-AGM para armar un banco dependiendo el voltaje de entrada del inversor.

Para nuestra elección el banco de baterías se armaría con 2 baterías de 12 Vdc y que tienen una capacidad 110 A-h conectadas en serie.

Celdas solares y conectores.

Cada elemento es dependiente del anterior así que el arreglo de las celdas debe cumplir con el voltaje de las baterías, de la tabla de celdas solares y conectores escogimos los siguientes:

-  Celda solar KD210GX-LP (135 w – 12 Vdc)
-  Celda solar KD135GX-LP (210 w – 24 Vdc)
-  Conector MC (2.5 [m] conexión en serie)

Nuestra opción fue la celda solar KD135GX-LP (210 w – 24 Vdc) ya que cumple con el voltaje requerido por las baterías y además no se necesitará realizar un arreglo.

Tiempo de recarga de las baterías.

Este valor depende de las características de la batería a utilizar, podemos obtener un tiempo estimado calculando el valor de la relación de la potencia total de nuestro banco de baterías y la potencia que suministra nuestro arreglo de celdas solares.

$$\text{Tiempo de carga estimado} = \frac{\text{Potencia banco de baterías}}{\text{Potencia celda solar}}$$

$$\text{Tiempo de carga estimado} = \frac{24\text{Vdc} [v] * 110 [A-hr] \approx 13 [hrs]}{210 [w-hr]}$$

Tiempo de respaldo.

Esta columna y la del precio total del sistema son las más importantes ya que en base de estas escogeremos la que cumpla con el objetivo.

$$\text{Tiempo de respaldo} = \frac{\text{Amper hora que entrega la batería}}{\text{Amper hora que demanda la carga al inversor}}$$

$$\text{Tiempo de respaldo} = \frac{110 [A-hr]}{54.16 [A]} = 2.03 [hrs]$$

Columna Costo total.

Esta columna es la suma de los valores de todos los elementos.

Nuestro costo total aproximado es de \$ 23,755.00