

# **CAPÍTULO 5:**

## **CIRCUITO ELÉCTRICO**

### **5.1. Descripción del circuito eléctrico**

Los paneles fotovoltaicos transforman la energía solar en energía eléctrica. Ésta, en forma de tensión y corriente continua, es llevada a un regulador de carga, la función del cual es supervisar y controlar el punto de máxima potencia. El gestor de redes, por su parte, controla y gestiona el banco de baterías y el generador diesel.

Durante el día, cuando el cielo está despejado y los módulos fotovoltaicos pueden producir electricidad con normalidad, parte de esta energía generada es entregada a la carga del sistema (las torres de telecomunicaciones) y una pequeña parte se entrega a las baterías. El gestor de redes se encargará de suministrar, mediante el generador diesel, la energía necesaria restante si hiciera falta.

Por la noche, o en días nublados, el gestor de redes utiliza la energía almacenada en las baterías más la energía producida por el generador diesel para alimentar la carga.

En caso de que las baterías lleguen a su máxima profundidad de descarga permitida y módulos fotovoltaicos no puedan generar electricidad, la alimentación será únicamente mediante el generador diesel, de forma que el sistema nunca se quedará sin alimentación.

El gestor de redes será el núcleo central de la instalación. Desde este dispositivo se podrá controlar el funcionamiento de todos los demás componentes. Deberá disponer de las protecciones pertinentes para garantizar su trabajo durante un largo periodo de tiempo.

Los módulos fotovoltaicos irán conectados entre sí y divididos en grupos. Deberán conectarse de manera que proporcionen la máxima potencia posible sin sobrepasar los límites permitidos o de protección del regulador. Cada grupo o generador fotovoltaico estará formado por nueve módulos como máximo y conectado a un regulador de carga. En el caso de que un grupo no alcance el número de módulos máximo, se colocarán de forma que proporcionen la máxima potencia posible. Se debe tener en cuenta que al conectar paneles en serie se consigue aumentar la tensión de salida y al conectarlos en paralelo se aumenta la corriente.

En este proyecto se han elegido módulos fotovoltaicos de potencia de pico  $200W_p$ . Una vez conectados entre sí, un generador de nueve paneles dará como resultado  $1805W$  aproximadamente en la salida. La suma de potencias de todos los generadores fotovoltaicos de la instalación deberá ser igual o superior a la potencia requerida por la parte correspondiente al sistema fotovoltaico.

Cada generador fotovoltaico tendrá un regulador de carga situado a su lado y dentro de una caja metálica protegida para evitar el acceso a personal no autorizado. Junto a la torre de comunicaciones, se construirá un cobertizo (en el caso de que no existiera) donde estará situado el gestor de redes, el generador diesel y las baterías, para protegerlos del entorno y del personal no autorizado.

El cableado desde los reguladores de carga al gestor de redes será subterráneo y con recubrimiento PVC. Todos los dispositivos deberán disponer de las medidas de seguridad y protecciones necesarias para su normal funcionamiento.

La normativa eléctrica elegida para el dimensionado ha sido la española. Con esto se pretende realizar un cálculo aproximado de cómo resultaría ser la instalación real. Los instaladores especializados de India deberán aplicar la normativa eléctrica correspondiente.

## 5.2. Cableado

Se diferencian varios tramos de cable para cada una de las torres. El primer tramo va desde el generador fotovoltaico hasta el regulador de carga. La longitud máxima será de 3m e irá bajo tierra y aislado.

El segundo tramo unirá los reguladores entre sí, mediante un cable con una longitud de 4m, con recubrimiento PVC y subterráneo.

El tercer tramo será desde el regulador de carga hasta el gestor de redes. Este tramo será subterráneo, con recubrimiento PVC, y tendrá una longitud máxima de 10m.

Dentro del cobertizo, el cableado desde el generador diesel, las baterías y la carga hasta el gestor de redes será de una longitud máxima de 3m. Estos tramos irán puestos en canalizaciones de montaje superficial.

La unión entre filas paneles fotovoltaicos se realizará con un cable de la misma sección que el que une la última fila de paneles con el regulador fotovoltaico (primer tramo descrito).

El generador diesel utilizará un conductor monofásico de igual sección tanto para el neutro como para la fase.

**Tabla 38.** Tramos de cable clasificados por longitud máxima.

Tramo de cable	Longitud máxima (m)
1-Generador FV a regulador de carga	3
2- Unión entre reguladores	4
3-Regulador de carga a gestor de redes	10
4-Baterías a gestor de redes	3
5-Gestor de redes a carga	3
6-Conexión del generador diesel	3

**Tabla 39.** Tramos de cable clasificados por sección mínima.

Tramo de cable	Sección mínima (mm <sup>2</sup> ) BTS 4/4/4	Sección mínima (mm <sup>2</sup> ) BTS 2/2/2
1-Generador FV a regulador de carga	6	6
2-Unión entre reguladores	16	16
3-Regulador de carga a gestor de redes	95	70
4-Baterías a gestor de redes	16	10
5-Gestor de redes a carga	10	4
6-Conexión del generador diesel	6	6

## 5.3. Cuadros eléctricos

Existirán cuatro cuadros en la instalación. Los tres primeros serán únicamente de corriente continua y estarán situados al lado de cada uno de los generadores fotovoltaicos. Cada cuadro contendrá un regulador de carga SIC-40 y las protecciones de corriente continua necesarias.

El cuarto cuadro eléctrico estará situado en el interior del cobertizo y lo formarán el gestor de redes SI-5048 y las protecciones de corriente continua y alterna pertinentes.

## 5.4. Elementos de protección

En toda instalación debe haber elementos de protección para asegurar el buen funcionamiento del sistema durante un largo periodo de tiempo y prevenir cualquier incidente contra las personas o bienes materiales.

A continuación se nombran todas las protecciones que debe llevar esta instalación según el Reglamento Eléctrico de Baja Tensión español, teniendo en cuenta su localización al aire libre y su periódica manipulación por el personal cualificado.

### 5.4.1. Protección contra contactos directos

La protección contra los contactos directos tiene la función de proteger a personas o animales contra el contacto de las partes activas de la instalación eléctrica, como puede ser un cable.

No puede haber acceso a los conductores eléctricos de la instalación ni a los puntos de conexión. Todas las partes con posible peligro de contacto directo deben estar adecuadamente aisladas por un material apropiado y los bornes de conexión deben estar protegidos y dentro de cuadros eléctricos.

En esta instalación se utilizan conductores aislados con recubrimiento PVC.

### 5.4.2. Protección contra contactos indirectos

El contacto indirecto es el contacto de una persona o animal con una masa puesta a tensión accidentalmente.

Debe instalarse adecuadamente una red de puesta a tierra para evitar que las partes metálicas de la instalación, como los cuadros eléctricos, sean peligrosas.

### *5.4.3. Elementos de protección CC*

Los elementos de protección en corriente continua protegen las baterías y los paneles fotovoltaicos de las sobreintensidades.

Los módulos fotovoltaicos vienen equipados con diodos de protección, como ya se explicó en el capítulo 2, para evitar las corrientes en inversa. Para añadir una mayor protección, se pueden utilizar fusibles y evitar así daños en el regulador.

Tanto el regulador de carga como el gestor de redes vienen equipados con fusibles de serie. En caso de sustitución por daños irreparables, deben utilizarse el mismo tipo de fusible.

Es necesario también proteger la carga de sobreintensidades mediante fusibles.

### *5.4.4. Elementos de protección CA*

En la instalación presente, la mayor parte del circuito eléctrico es CC. La única parte de corriente alterna es el grupo electrógeno, que ya incorpora un interruptor diferencial. En el caso de que este diferencial no existiera o necesitara recambio, podría realizarse mediante un diferencial de hasta 300mA, corriente de fuga con 24V máximos establecidos en la red de tierra por normativa y 80 $\Omega$  de resistencia de tierra máxima.

## **5.5. Tomas a tierra**

Este apartado está basado en la instrucción ITC-BT-18 española. En el caso de que la normativa india difiera sobre esta, el personal cualificado deberá aplicar los cambios correspondientes al realizar la instalación.

Las instalaciones de corriente continua de baja tensión de hasta 48V no se ven obligadas a tener una red de tierra, pero se ha decidido a diseñarla para proteger de posibles contactos indirectos, sobretodo en la estructura metálica de los paneles fotovoltaicos.

La red de tierra está formada por:

- Conductor de protección: une todas las masas de la instalación.
- Punto de puesta a tierra: punto de unión de los conductores de protección.
- Conductor de tierra: conductor que une el punto de puesta a tierra con el electrodo de toma a tierra.
- Toma de tierra: electrodo con cierta resistencia que une la instalación eléctrica con tierra por razones de protección o funcionales.

La red de tierra debe tener una resistencia suficiente para evitar la tensión máxima establecida en la normativa en cualquier masa metálica del circuito en caso de corriente de fuga. En este caso, esta tensión no puede superar los 24V porque se trata de una instalación en local mojado.

La instrucción ITC-BT-18 también especifica que deberá haber una toma de medición en los electrodos y los conductores de tierra para revisar la resistencia de tierra como mínimo una vez al año.

Los conductores de tierra no pueden ser de sección menor a los conductores de protección. Los conductores de protección de esta instalación deben tener como mínimo las secciones establecidas en la tabla 2 de la ITC-BT-18. En este caso se ha optado por utilizar conductores con la misma sección que los conductores de trabajo.

Realizando los cálculos con una tensión máxima de 24V respecto a tierra y una resistencia de tierra de  $80\Omega$ , se obtiene que puede realizarse la toma a tierra mediante 5 electrodos en paralelo formados por picas verticales de 1,5m de longitud.

## 5.6. Cumplimiento de prescripciones de locales de características especiales (ITC-BT-30)

En la instrucción española ITC-BT-30, los locales de características especiales comprenden los locales húmedos, los locales mojados, los locales con riesgo de corrosión y los locales en que existan baterías de acumuladores entre otros.

Se define como local mojado *“aquellos en que los suelos, techos y paredes estén o puedan estar impregnados de humedad y donde se vean aparecer, aunque sólo sea temporalmente, lodo o gotas gruesas de agua debido a la condensación o bien estar cubiertos de vaho durante largos períodos. En estos locales o emplazamientos se incluyen las instalaciones a la intemperie.”* Este tipo de instalación debe cumplir las condiciones tanto para locales mojados como para locales húmedos.

Siempre que existan varios tipos de condiciones para un mismo caso, se escogerán las más restrictivas:

### 1. Canalizaciones eléctricas:

*“Las canalizaciones serán estancas, utilizándose para terminales, empalmes y conexiones de las mismas, sistemas y dispositivos que presenten el grado de protección correspondiente a las proyecciones de agua, IPX4. Las canalizaciones prefabricadas tendrán el mismo grado de protección IPX4.”*

### 2. Instalación de conductores y cables aislados en el interior de tubos:

*“Los conductores tendrán una tensión asignada de 450/750 V y discurrirán por el interior de tubos:*

- *Empotrados: según lo especificado en la ITC-BT-21.*

- *En superficie: según lo especificado en la ITC-BT-21, pero que dispondrán de un grado de resistencia a la corrosión 4."*
- 3. Instalación de cables aislados con cubierta en el interior de canales aislantes:  
*"Los conductores tendrán una tensión asignada de 450/750 V y discurrirán por el interior de canales que se instalarán en superficie y las conexiones, empalmes y derivaciones se realizarán en el interior de cajas."*
- 4. Aparamenta:  
*"Se instalarán los aparatos de mando y protección y tomas de corriente fuera de estos locales. Cuando esto no se pueda cumplir, los citados aparatos serán, del tipo protegido contra las proyecciones de agua, IPX4, o bien se instalarán en el interior de cajas que les proporcionen un grado de protección equivalente."*
- 5. Dispositivos de protección:  
*"De acuerdo con lo establecido en la ITC-BT-22, se instalará, en cualquier caso, un dispositivo de protección en el origen de cada circuito derivado de otro que penetre en el local mojado."*
- 6. Aparatos móviles o portátiles:  
*"Queda prohibido en estos locales la utilización de aparatos móviles o portátiles, excepto cuando se utilice como sistema de protección la separación de circuitos o el empleo de muy bajas tensiones de seguridad, MBTS según la Instrucción ITC-BT-36."*
- 7. Receptores de alumbrado:  
*"Los receptores de alumbrado estarán protegidos contra las proyecciones de agua, IPX4. No serán de clase 0."*

Las instalaciones en locales en que existan baterías de acumuladores con posibilidad de desprendimiento de gases, se consideran locales o emplazamientos con riesgo de corrosión. Estos deben cumplir con las prescripciones señaladas para locales mojados además de estar protegidos contra los efectos de vapores y gases desprendidos por el electrolito y estar provistos de una ventilación natural o forzada que garantice una renovación perfecta y rápida del aire. Estas deberán ser aplicadas en el cobertizo donde están situadas las baterías de la instalación.

