

ANEXOS

ANEXO I: CÁLCULOS TÉCNICOS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Gran parte del contenido de este capítulo ha sido obtenido del manual “Instalaciones Fotovoltaicas” de documentos internos de la empresa ALPHA SYLTEC Ingeniería S.L, que, a su vez fue elaborado basado en documentos oficiales como CTE o el Código Electrotécnico de Baja Tensión

Cálculo de la potencia nominal según CTE DB HE-5

Según el Código Técnico de la Edificación en su documento básico HE-5 “Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica”, en su ámbito de aplicación en el apartado 1.1, indica que esta Sección se aplica a:

- a) Edificios de nueva construcción y a edificios existentes que se reformen íntegramente, o en los que se produzca un cambio de uso característico del mismo, para los usos indicados en la tabla 1.1 (figura 1.4) cuando se superen los 5.000 m² de superficie construida.
- b) Ampliaciones en edificios existentes, cuando la ampliación corresponda a alguno de los usos establecidos en la tabla 1.1 (figura 1.4) y la misma supere 5.000 m² de superficie construida. Se considerará que la superficie construida incluye la superficie del aparcamiento subterráneo (si existe) y excluye las zonas exteriores comunes.

Tabla 1.1 Ámbito de aplicación

Tipo de uso
Hipermercado
Multi-tienda y centros de ocio
Nave de almacenamiento y distribución
Instalaciones deportivas cubiertas
Hospitales, clínicas y residencias asistidas
Pabellones de recintos feriales

Figura 1.4 – Tabla 1.1 CTE DB HE-5

En el caso de edificios ejecutados dentro de una misma parcela catastral, destinados a cualquiera de los usos recogidos en la tabla 1.1, para la

comprobación del límite establecido en 5.000 m², se considerará la suma de la superficie construida de todos ellos.

Quedan exentos del cumplimiento total o parcial de esta exigencia los edificios históricos protegidos cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística.

Dicho documento, en su apartado 2.2 “Cuantificación de la exigencia” indica:

La potencia nominal mínima que hay que instalar se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$P = C \times (0,002 \times S - 5)$$

Siendo:

- P la potencia nominal a instalar (kW).
- C el coeficiente definido en la tabla 2.1 (Figura 1.5) en función de la zona climática.
- S la superficie construida del edificio (m²).

Tabla 2.1 Coeficiente climático

Zona climática	C
I	1
II	1,1
III	1,2
IV	1,3
V	1,4

Figura 1.5 – Tabla 2.1 CTE HE-5

Hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La superficie S a considerar para el caso de edificios destinados a cualquiera de los usos recogidos en la tabla 1.1 (Figura 1.5) ejecutados dentro de una misma parcela catastral, será la suma de todas ellas.
- En todos los casos, la potencia pico mínima del generador será al menos igual a la potencia nominal del inversor. La potencia nominal máxima obligatoria que hay que instalar en todos los casos será de 100 kW.
- La potencia eléctrica mínima de la instalación podrá sustituirse parcial o totalmente cuando se cubra la producción eléctrica estimada que



correspondería a la potencia mínima mediante el aprovechamiento de otras fuentes de energía renovables.

Cálculo del número de módulos fotovoltaicos según el CTE DB HE-5

Según el Apartado 5.2.2 “Inversor”, apartado 3 del citado CTE DB HE-5, la potencia del inversor será como mínimo el 80% de la potencia pico real del generador fotovoltaico.

Por lo que, si tenemos un generador de 5 kW, la potencia pico oscilará entre el 80% y 100%, realizando la siguiente operación obtenemos:

$$5 \text{ kW}/0,8 = 6,25 \text{ Kwp}$$

$$5 \text{ kW}/1 = 5,00 \text{ Kwp}$$

Si, por ejemplo, el modelo de módulo fotovoltaico que queremos es de 235 wp, el número de módulos fotovoltaicos a instalar estará comprendido entre los siguientes valores:

$$6.250 \text{ wp}/235 \text{ wp} = 26,59 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

$$5.000 \text{ wp}/235 \text{ wp} = 21,28 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

El número de módulos será un número entero entre 22 y 26 módulos, en función del cálculo de tensiones y las características del inversor a instalar.

En el caso del funcionamiento del programa Excel, hemos decidido que las placas fotovoltaicas serán 1,1 más potentes que la potencia nominal.

Selección de cableado y sistema de montaje (bandejas, tubos, etc...)

Para determinar la sección de los cables utilizaremos tres métodos de cálculo distintos:

- Calentamiento.
- Limitación de caída de tensión en la instalación (momentos eléctricos).
- Limitación de la caída de tensión en cada tramo.

Adoptaremos la sección nominal más desfavorable de las tres resultantes, tomando como valores mínimos 1,50 mm² para alumbrado y 2,50 mm² para fuerza.



- Cálculo de la sección por calentamiento

Aplicaremos para el cálculo por calentamiento lo expuesto en la norma UNE-HD 60364-5-52:2014. La intensidad máxima que debe circular por un cable para que éste no se deteriore viene marcada por las tablas 52-C1 a 52-C12. En función del método de instalación adoptado de la tabla 52-B2, determinaremos el método de referencia según 52-B1, que en función del tipo de cable nos indicará la tabla de intensidades máxima que hemos de utilizar.

La intensidad máxima admisible se ve afectada por una serie de factores como son la temperatura ambiente, la agrupación de varios cables, la exposición al sol, etc..., que generalmente reducen su valor. Hallaremos el factor por temperatura ambiente a partir de las tablas 52-D1 y 52-D2- El factor por agrupamiento, de las tablas 52-E1, 52-E2, 52-E3 A y 52-E3 B. Si el cable está expuesto al sol, o bien, se trata de un cable con aislamiento mineral, desnudo y accesible, aplicaremos directamente un 0,9.

Para el cálculo de la sección, dividiremos la intensidad de cálculo por el producto de todos los factores correctores, y buscaremos en la tabla la sección correspondiente para el valor resultante. Para determinar la intensidad máxima admisible del cable, buscaremos en la misma tabla a la intensidad para la sección adoptada, y la multiplicaremos por el producto de los factores correctores.

Las intensidades de cálculo serán:

- Para instalaciones en corriente continua:

$$I = P / V$$

- Para instalaciones en corriente alterna monofásica:

$$I = P/V \cdot \cos\varphi$$

- Para instalaciones en corriente alterna trifásica:

$$I = P/V \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi$$

Según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red del IDAE, el factor de potencia deberá ser superior a 0,95, entre el 25% y el 100% de la potencia nominal



Por lo tanto, tomaremos $\cos \varphi = 1$

- Método de los momentos eléctricos

Con este método podremos limitar la caída de tensión en toda la instalación a 4,50% para alumbrado y 6,50% para fuerza. Para ejecutarlo, utilizaremos las siguientes fórmulas:

- Distribución monofásica:

$$S = (2 \cdot \lambda) / (K \cdot e \cdot U_n)$$

$$\lambda = \sum(L_i \cdot P_i)$$

Siendo:

S = Sección del cable (mm²)

λ = Longitud virtual.

e = Caída de tensión (V)

K = Conductividad.

L_i = Longitud desde el tramo hasta el receptor (m)

P_i = Potencia consumida por el receptor (W)

U_n = Tensión entre fase y neutro (V)

- Distribución trifásica:

$$S = (2 \cdot \lambda) / (K \cdot e \cdot U_n)$$

$$\lambda = \sum(L_i \cdot P_i)$$

Siendo: U_n = Tensión entre fases (V)

Método de la caída de tensión

El REBT (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión), establece lo siguiente: para instalaciones interiores o receptoras, no deberán superarse en ningún caso los siguientes valores de caída de tensión: 3% de la tensión



nominal para receptores de alumbrado. 5% para receptores de fuerza motriz (no alumbrado). En nuestro caso los valores de caídas de tensión los hemos definido en apartados anteriores.

La caída de tensión será diferente si la corriente es continua o alterna, y, dentro de la alterna si es monofásica o trifásica. Por todo ello las fórmulas para el cálculo de las caídas de tensión quedan de la siguiente manera:

- Para instalaciones en corriente continua:

$$U = (2 \cdot P \cdot L) / (\gamma \cdot V \cdot S)$$

Donde:

U = Caída de tensión producida en voltios (V).

P = Potencia consumida en vatios (W).

L = Longitud de la línea en metros (m).

γ = Conductividad del material (cobre o aluminio) en (m/ Ω ·mm²).

V = Tensión nominal de la línea en voltios (V).

S = Sección de la línea en milímetros cuadrados.

- Para instalaciones en corriente alterna monofásica:

$$U = (2 \cdot P \cdot L) / (\gamma \cdot V \cdot S)$$

Donde:

U = Caída de tensión producida en voltios (V).

P = Potencia consumida en vatios (W).

L = Longitud de la línea en metros (m).

γ = Conductividad del material (cobre o aluminio) en (m/ Ω ·mm²).

V = Tensión nominal de la línea en voltios (V).

S = Sección de la línea en milímetros cuadrados.

- Para instalaciones en corriente alterna trifásica:



$$U = (P \cdot L) / (\gamma \cdot V \cdot S)$$

Donde:

U = Caída de tensión producida en voltios (V).

P = Potencia consumida en vatios (W).

L = Longitud de la línea en metros (m).

γ = Conductividad del material (cobre o aluminio) en (m/ Ω ·mm²).

V = Tensión nominal de la línea en voltios (V).

S = Sección de la línea en milímetros cuadrados.

Protección contra corrientes de defecto

La protección contra corrientes de defecto viene expuesta en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión la ITC BT-21 “Protección contra contactos directos e indirectos”.

El contacto de una persona con un elemento en tensión puede ser Directo o Indirecto. Se dice que es directo cuando

Protección contra contactos directos

Para la elección de las medidas de protección contra contactos indirectos, se tendrá en cuenta la naturaleza de los locales o emplazamientos, las masas y los elementos conductores, la extensión e importancia de la instalación, etc...., que obligarán en cada caso a adoptar la medida de protección más adecuada.

Las medidas de protección contra los contactos indirectos pueden ser de las clases siguientes:

- Clase A: Esta medida consiste en tomar disposiciones destinadas a suprimir el riesgo mismo, haciendo que los contactos no sean peligrosos, o bien impidiendo los contactos simultáneos entre las masas y elementos conductores, entre los cuales pueda aparecer una diferencia de potencial peligrosa.

Los sistemas de protección de Clase A son los siguientes:

- Separación de circuitos.



- Empleo de pequeñas tensiones de seguridad.
 - Separación entre las partes activas y las masas accesibles por medio de aislamientos de protección.
 - Inaccesibilidad simultánea de elementos conductores y masas.
 - Recubrimiento de las masas con aislamientos de protección
 - Conexiones equipotenciales.
- Clase B: Esta medida consiste en la puesta a tierra directa o la puesta a neutro de las masas, asociándola a un dispositivo de corte automático, que origine la desconexión de la instalación defectuosa.

Los sistemas de protección de la Clase B son los siguientes:

- Puesta a tierra de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto.
- Puesta a tierra de las masas y dispositivo de corte por tensión de defecto.
- Puesta a neutro de las masas y dispositivo de corte por intensidad de defecto.

La aplicación de los sistemas de protección de la Clase A no es generalmente posible, sino de manera limitada y solamente para ciertos equipos, materiales o partes de una instalación.

Elección de cuadro de mandos y protección

Según la ITV BT-17 del Reglamento electrotécnico de Baja Tensión, los dispositivos generales e individuales de mando y protección, cuya posición de servicio será vertical, se ubicarán en el interior de uno o varios cuadros de distribución de donde partirán los circuitos interiores.

Las envolventes de los cuadros se ajustarán a las normas UNE 20.451 y UNE-EN 60.439-3, con un grado de protección mínimo IP 30 según UNE 20.324 e IK07 según UNE-EN 50.102. La envolvente para el interruptor de control de potencia será precintable, y sus dimensiones estarán de acuerdo con el tipo de suministro y tarifa a aplicar. Sus características y tipo corresponderán a un



modelo oficialmente aprobado. Los dispositivos generales e individuales de mando y protección serán, como mínimo:

- Un interruptor general automático de corte omnipolar, que permita su accionamiento manual y que esté dotado de elementos de protección contra sobrecarga y cortocircuitos. Este interruptor será independiente del interruptor de control de potencia.
- Un interruptor diferencial general, destinado a la protección contra contactos indirectos de todos los circuitos; salvo que la protección contra contactos indirectos se efectúe mediante otros dispositivos de acuerdo con la ITC-BT-24.
- Dispositivos de corte omnipolar, destinado a la protección contra sobrecargas y cortocircuitos de cada uno de los circuitos interiores de la vivienda o local.
- Dispositivo de protección contra sobretensiones, según ITC-BT-23, si fuese necesario.

Si por el tipo o carácter de la instalación se instalase un interruptor diferencial por cada circuito o grupo de circuitos, se podría prescindir del interruptor diferencial general, siempre que queden protegidos todos los circuitos.

Estructura soporte

Las estructuras soporte deberán cumplir las especificaciones del Código Técnico de la Edificación en sus documentos básicos de seguridad estructural, sobre todo lo referido a lo especificado en el DB-SE-AE Acciones en la edificación, en cuanto a las sobrecargas del viento y nieve y demás normativa de aplicación

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de módulos, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos, siguiendo las indicaciones del fabricante.

Los puntos de sujeción para el módulo fotovoltaico serán suficientes en número, teniendo en cuenta el área de apoyo y posición relativa, de forma que no se produzcan flexiones en los módulos superiores a las permitidas por el fabricante y los métodos homologados para el modelo de módulo.



La estructura se realizará según la orientación y ángulo de inclinación especificado para el generador fotovoltaico buscando la facilidad de montaje, desmontaje y posibles sustituciones futuras de elementos.

La estructura estará protegida superficialmente contra agentes ambientales. Cualquier taladro se realizará antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura. Si es galvanizada el espesor mínimo será de 80 micras.

La tornillería será realizada en acero inoxidable, cumpliendo la norma MV-106. Si la estructura está galvanizada se admitirán tornillos galvanizados, exceptuando la sujeción de los módulos a la misma, que será mediante tornillos de acero inoxidable. Se debe evitar en todo caso arrojar sombra sobre los módulos por cualquier elemento de la instalación.

Los topes de sujeción de módulos y la propia estructura no arrojarán sombra sobre los módulos.

En el caso de instalaciones integradas en cubierta que hagan las veces de la cubierta del edificio, el diseño de la estructura y la estanquidad entre módulos se ajustará a las exigencias vigentes en materia de edificación.

La estructura soporte será calculada según la normativa vigente para soportar cargas extremas.

