



CÁLCULOS ELÉCTRICOS

EFICEN RESEARCH, S.L., C. Vitoria, nº 17 (bajo) -, 26006 Logroño. LA RIOJA. Telf: 941 483 301
tecnico@eficen.com www.eficen.com





INDICE

1	OBJETO	3
2	CONSTANTES DE CÁLCULO	3
3	FÓRMULAS A EMPLEAR.....	3
4	POTENCIA A CONSIDERAR EN EL CÁLCULO ELÉCTRICO	9
5	DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO DE LOS CIRCUITOS	9
6	CALCULOS CDT DE CORRIENTE CONTINUA	10
7	CALCULOS CALENTAMIENTO DE CONDUCTOR DE CORRIENTE CONTINUA.....	12
8	CALCULOS CDT DE CORRIENTE ALTERNA	14
9	CALCULOS CALENTAMIENTO DE CONDUCTOR DE CORRIENTE ALTERNA	15
10	CALCULO DE PROTECCIONES CC	16
11	CALCULO DE PROTECCIONES CA.....	17
11.1	PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS.....	17
11.2	PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS	22



1 OBJETO

En este anexo se procede al cálculo de las secciones, protecciones y aparamenta necesaria para asegurar que la instalación cumple los requisitos de seguridad y funcionamiento aplicables por el REBT 2002 y sus ITC complementarias.

2 CONSTANTES DE CÁLCULO

- Clase de corriente: Alterna trifásica y continua.
- Tensión: 400/230 V. (CA) y 595,2/892,8 V (CC).
- Cos $\phi=1$.
- Tipo de conductores: unipolares y tetrapolares de cobre 0,6/1 kV.
- Canalizaciones: Conductores aislados bajo bandeja rejilla.
- Régimen de neutro: TT.
- Frecuencia: 50 Hz.

3 FÓRMULAS A EMPLEAR

- Corriente continua:

$$I = \frac{P}{U}$$

$$\Delta U = \frac{2 \cdot L \cdot I}{K \cdot S}$$

Donde:

K = inversa de la conductividad eléctrica, 56 para el cobre y 35 para el Aluminio.

ΔU = Caída de tensión (V).

I = Intensidad (A).

L = Longitud de la línea en (m).

S = Sección del conductor (mm²).

V = Tensión (V).

P = Potencia (W).

- **Corriente alterna:**

Emplearemos las siguientes:

Sistema Trifásico

$$I = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot R} (A)$$

$$e = \frac{L \cdot P_c}{k \cdot U \cdot n \cdot S \cdot R} + \frac{L \cdot P_c \cdot X_u \cdot \text{Sen } \varphi}{1000 \cdot U \cdot n \cdot R \cdot \cos \varphi} (V)$$

Sistema Monofásico

$$I = \frac{P_c}{U \cdot \cos \varphi \cdot R} (A)$$

$$e = \frac{2 \cdot L \cdot P_c}{k \cdot U \cdot n \cdot S \cdot R} + \frac{2 \cdot L \cdot P_c \cdot X_u \cdot \text{Sen } \varphi}{1000 \cdot U \cdot n \cdot R \cdot \cos \varphi} (V)$$

Donde:

P_c = Potencia de Cálculo en Watios.

L = Longitud de Cálculo en metros.

e = Caída de tensión en Voltios.

K = Conductividad.

I = Intensidad en Amperios.

U = Tensión de Servicio en Voltios (Trifásica o Monofásica).

S = Sección del conductor en mm².

Cos φ = Coseno de phi. Factor de potencia.

R = Rendimiento. (Para líneas motor).

N = Nº de conductores por fase.

X_u = Reactancia por unidad de longitud en mΩ/m.

Fórmula Conductividad Eléctrica

$$K = 1/\rho$$



$$\rho = \rho_{20}[1 + \alpha(T - 20)]$$

$$T = T_0 + [(T_{max} - T_0)(I/I_{max})^2]$$

Siendo,

K = Conductividad del conductor a la temperatura T.

ρ = Resistividad del conductor a la temperatura T.

ρ_{20} = Resistividad del conductor a 20°C.

- Cu = 0,018
- Al = 0,029

α = Coeficiente de temperatura:

- Cu = 0,00392
- Al = 0,00403

T = Temperatura del conductor (°C).

T₀ = Temperatura ambiente (°C):

- Cables enterrados = 25°C
- Cables al aire = 40°C

T_{max} = Temperatura máxima admisible del conductor (°C):

- XLPE, EPR = 90°C
- PVC = 70°C

I = Intensidad prevista por el conductor (A).

I_{max} = Intensidad máxima admisible del conductor (A),

Fórmula Sobrecargas

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_z \leq 1,45 \cdot I_z$$

Donde:

I_b: intensidad utilizada en el circuito.

I_z: intensidad admisible de la canalización según la norma UNE 20-460/5-523

I_n: intensidad nominal del dispositivo de protección. Para los dispositivos de protección regulables, I_n es la intensidad de regulación escogida.

I_2 : intensidad que asegura efectivamente el funcionamiento del dispositivo de protección. En la práctica I_2 se toma igual:

- A la intensidad de funcionamiento en el tiempo convencional, para los interruptores automáticos (1,45 I_n como máximo).
- A la intensidad de fusión en el tiempo convencional, para los fusibles (1,6 I_n).

Fórmulas compensación energía reactiva:

$$\cos \varphi = P / \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\tan \varphi = Q/P$$

$$Q_c = P_x (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

$$C = \frac{Q_c \cdot 1000}{U^2 \cdot \omega} \text{ (Monofásico - Trifásico conexión estrella)}$$

$$C = \frac{Q_c \cdot 1000}{3 \cdot U^2 \cdot \omega} \text{ (Trifásico - conexión triángulo)}$$

Siendo:

P = Potencia activa instalación (kW).

Q = Potencia reactiva instalación (kVAr).

Q_c = Potencia reactiva a compensar (kVAr).

Φ₁ = Ángulo de desfase de la instalación sin compensar.

Φ₂ = Ángulo de desfase que se quiere conseguir.

U = Tensión compuesta (V).

ω = 2 · π · f; f=50 Hz.

C = Capacidad condensadores (F); cx1.000.000 (μF).

Fórmulas Cortocircuito

$$I_{pcc} = \frac{Ct \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Zt}$$

Siendo:



I_{pccI} : Intensidad permanente de c.c. en inicio de línea en kA.

C_t : Coeficiente de tensión.

U : Tensión trifásica en V.

Z_t : Impedancia total en mohm, aguas arriba del punto de c.c. (sin incluir la línea o circuito en estudio).

$$I_{pccF} = \frac{C_t \cdot U_F}{2 \cdot Z_t}$$

Siendo:

I_{pccF} : Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en kA.

C_t : Coeficiente de tensión.

U_F : Tensión monofásica en V.

Z_t : Impedancia total en mohm, incluyendo la propia de línea o circuito (por tanto, es igual a la impedancia en origen más la propia del conductor o línea).

$$Z_t = (R_t^2 + X_t^2)^{1/2}$$

Siendo:

R_t : $R_1+R_2+\dots+R_n$ (suma de las resistencias de las líneas aguas arriba hasta el punto de c.c.)

X_t : $X_1+X_2+\dots+X_n$ (suma de las reactancias de las líneas aguas arriba hasta el punto de c.c.)

$R = L \cdot 1000 \cdot C_R / K \cdot S \cdot n$ (mohm)

$X = X_u \cdot L / n$ (mohm)

R : Resistencia de la línea en mohm.

X : Reactancia de la línea en mohm.

L : Longitud de la línea en m.

C_R : Coeficiente de resistividad.

K : Conductividad del metal.

S : Sección de la línea en mm^2 .

X_u : Reactancia de la línea, en mohm por metro.

n : nº de conductores por fase.



$$t_{mcicc} = Cc \cdot S^2 / IpccF^2$$

Siendo:

Tmcicc: Tiempo máximo en sg que un conductor soporta una Ipcc.

Cc = Constante que depende de la naturaleza del conductor y de su aislamiento.

S: Sección de la línea en mm².

IpccF: Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en A.

$$t_{ficc} = cte. fusible / IpccF^2$$

Siendo:

Tficc: tiempo de fusión de un fusible para una determinada intensidad de cortocircuito.

IpccF: Intensidad permanente de c.c. en fin de línea en A.

$$Lmax = 0,8 \cdot U_F / 2 \cdot I_{F5} \cdot \sqrt{(1,5/K \cdot S \cdot n)^2 + (Xu/n \cdot 1000)^2}$$

Siendo:

Lmax: Longitud máxima de conductor protegido a c.c. (m) (para protección por fusibles)

UF: Tensión de fase (V)

K: Conductividad

S: Sección del conductor (mm²)

Xu: Reactancia por unidad de longitud (mohm/m). En conductores aislados suele ser 0,1.

n: nº de conductores por fase.

Ct=0,8: Es el coeficiente de tensión.

CR=1,5: Es el coeficiente de resistencia.

IF5=Intensidad de fusión en amperios de fusibles en 5 seg.

*Curvas válidas. (Para protección de Interruptores automáticos dotados de Relé electromagnético).



CURVA B	IMAG = 5 ln
CURVA C	IMAG = 10 ln
CURVA D Y MA	IMAG = 20 ln

Fórmulas Embarrados

Cálculo electrodinámico

$$\sigma_{max} = I_{pcc}^2 \cdot L^2 / (60 \cdot d \cdot W_y \cdot n)$$

Siendo:

I_{pcc}: Intensidad permanente de c.c. (kA)

I_{pccs}: Intensidad de c.c. soportada por el conductor durante el tiempo de duración del c.c. (kA).

S: Sección total de las pletinas (mm²)

T_{cc}: Tiempo de duración del cortocircuito (s)

K_c: Constante del conductor: Cu=164, Al =107.

4 POTENCIA A CONSIDERAR EN EL CÁLCULO ELÉCTRICO

La potencia para el cálculo de los circuitos eléctricos depende de la potencia del conjunto de paneles para el lado de corriente continua, y de la potencia nominal del inversor en el lado de corriente alterna.

5 DESCRIPCIÓN Y CÁLCULO DE LOS CIRCUITOS

Para las instalaciones fotovoltaicas del presente proyecto el dimensionado de las secciones de los conductores, se hará conforme a lo que establece la instrucción ITC BT 40 y se adoptará el resultado más desfavorable de los obtenidos.

- Por caída de tensión (máximo un 1,5% en la parte de CC y 1,5% entre el generador de CA y la red pública o la instalación interior).
- Por intensidad máxima admisible.
- Por densidad de corriente.
- La intensidad que soportará el cable deberá ser del 125% de la calculada.



6 CALCULOS CDT DE CORRIENTE CONTINUA

Para los tramos de corriente continua tendremos en cuenta que la caída de tensión máxima será de un 1,5% desde la salida de los paneles, hasta el inversor de red. Para ajustar las secciones en cada línea del cableado necesario, se calcula la sección necesaria para cada string, adjuntado en las tablas siguientes:



PROYECTO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 36,3 KWP PARA AUTOCONSUMO COLECTIVO
UBICADA EN LA CUBIERTA DEL COLEGIO EN EL MUNICIPIO DE ENTRENA (LA RIOJA)

Tramo	Descripción	Longitud	Tensión (V)	Tipo de montaje	Caída aprox (%)	Intensidad	Ix125%	Sección final (mm ²)	C.d.t (V)	Caída Tensión tramo (%)	CUMPLE
S1	S1-INV	40	500,4	B1	1,3	13,2	16,50	4	5,8	1,100	SI
S2	S2-INV	38	500,4	B1	1,3	13,2	16,50	4	5,5	1,100	SI
S3	S3-INV	45	750,6	B1	1,5	13,2	16,50	4	6,6	0,800	SI
S4	S4-INV	38	500,4	B1	1,3	13,2	16,50	4	5,5	1,100	SI
S5	S5-INV	40	500,4	B1	1,3	13,2	16,50	4	5,8	1,100	SI

7 CÁLCULOS CALENTAMIENTO DE CONDUCTOR DE CORRIENTE CONTINUA

Para el cálculo del calentamiento del conductor tendremos en cuenta el tipo de montaje, los factores de temperatura ambiente del cableado, los circuitos por bandeja o tubo y el número de capas en cada bandeja portacables, de manera que se ajuste la intensidad admisible del conductor. También se mayorará la intensidad de cortocircuito un 25% según ITC-BT-40, que será la que usemos para determinar la sección del conductor necesaria.

Para ajustar las secciones en cada línea del cableado necesario, se calcula la sección necesaria para cada string, adjuntado en las siguientes tablas:



PROYECTO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 36,3 KWP PARA AUTOCONSUMO COLECTIVO
UBICADA EN LA CUBIERTA DEL COLEGIO EN EL MUNICIPIO DE ENTRENA (LA RIOJA)

Tramo	Descripción	Longitud	Tensión (V)	Tipo de montaje	Intensidad	lx125%	Sección final (mm2)	Tipo aislamiento	Int. admisible (A)	FC Tª	Nº de circuitos	FC agrupación	Nº capas cables	Coef. capas cables	Intensidad Corregida (A)	¿Cumple?
1.1	Str.1-CC	40	595,2	B1	13,2	16,50	4,00	XLPE2	36	0,9	8	0,8	2	0,8	20,736	SI
1.2	Str.2-CC	38	595,2	B1	13,2	16,50	4,00	XLPE2	36	0,9	8	0,8	2	0,8	20,736	SI
1.3	Str.3-CC	45	892,8	B1	13,2	16,50	4,00	XLPE2	36	0,9	8	0,8	2	0,8	20,736	SI
1.4	Str.4-CC	38	595,2	B1	13,2	16,50	4,00	XLPE2	36	0,9	8	0,8	2	0,8	20,736	SI
1.5	Str.5-CC	40	595,2	B1	13,2	16,50	4,00	XLPE2	36	0,9	8	0,8	2	0,8	20,736	SI



8 CALCULOS CDT DE CORRIENTE ALTERNA

Para los tramos de corriente alterna tendremos en cuenta que la caída de tensión máxima será de un 1,5% desde la salida de los inversores hasta el punto de conexión a la red interior (inst. de enlace) del edificio. Para ajustar las secciones en cada línea del cableado necesario, se calcula la sección necesaria para cada salida del inversor, adjuntado en las siguientes tablas:

Tramo	Descripción	Longitud	Tensión (V)	Tipo de montaje	Caída aprox (%)	Intensidad	Ix125%	Sección final (mm ²)	C.d.t (V)	Caída Tensión tramo (%)	CUMPLE
INV	INV-CGP	50	400	B2	1,5	52,39	65,49	25,00	4,6	1,030	SI



9 CALCULOS CALENTAMIENTO DE CONDUCTOR DE CORRIENTE ALTERNA

Para el cálculo del calentamiento del conductor tendremos en cuenta el tipo de montaje, los factores de temperatura ambiente del cableado, los circuitos por bandeja y el número de capas en cada bandeja portacables, de manera que se ajuste la intensidad admisible del conductor. También se mayorará la intensidad de cortocircuito un 25% según ITC-BT-40, que será la que usemos para determinar la sección del conductor necesaria. En este caso las ternas de cableado de salida de cada inversor se trenzarán para evitar efectos adversos de reactancia.

Para ajustar las secciones en cada línea del cableado necesario, se calcula la sección necesaria para cada string, adjuntado en las siguientes tablas:

Tramo	Descripción	Longitud	Tensión (V)	Tipo de montaje	Intensidad	Ix125%	Sección final (mm ²)	Tipo aislamiento	Intensidad admisible (A)	FC T ^a	Nº de circuitos	FC agrupación	Nº capas cables	Coef. capas cables	Intensidad Corregida (A)	¿Cumple?
1.1	INV-CGP	50	400	B2	52,39	65,49	25,00	XLPE3	88	0,9	1	1	1	1	79,2	SI



10 CALCULO DE PROTECCIONES CC

Se instalarán protecciones contra sobreintensidades y sobretensiones en el lado de continua, concretamente a la salida de la generación, además de un sistema de corte manual para mantenimiento.

Para el cálculo de las protecciones contra sobreintensidades en el lado de continua tendremos en cuenta que:

$$1,45 \cdot I_b \leq I_n \leq 2 \cdot I_Z$$

Nuestra intensidad de diseño corresponde a la nominal del panel, que es $I_b = 13,2 \text{ A}$

Por lo tanto, la I_n Del fusible será de $I_n = 20 \text{ A}$.

Por tanto, en la parte de CC, tenemos los siguientes elementos.

- Fusibles de 20 A en cada string de paneles, integrados en el propio inversor.
- Seccionador manual de la parte de continua, para labores de mantenimiento. Integrado en el propio inversor.

11 CALCULO DE PROTECCIONES CA

11.1 PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS

La norma aplicable para los interruptores automáticos de potencia es la UNE EN 60947. En el estado español, las características técnicas para la protección contra contactos directos e indirectos vienen recogidas en la ITC-BT-24, así como en el REBT 2002.

Para la protección contra contactos directos se instalarán protecciones magnetotérmicas. Para elegir correctamente el magnetotérmico a instalar, deberán cumplirse las siguientes condiciones:

1ª Condición de elección de la I_N del magnetotérmico (UNE 20.460)

$$I_c \leq I_n \leq I_z$$

La intensidad de cálculo será menor o igual que la nominal del magnetotérmico, y esta, estará por debajo de la máxima admisible que soporta el conductor. Si no se cumple, hay que elevar la sección. La intensidad de cálculo del inversor de 30 kW y suponiendo un $\cos(\phi) = 1$ será:

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{36300}{\sqrt{3} \cdot 400} = 52,39 \text{ A}$$

La intensidad admisible del conductor a emplear, de 25 mm² de sección, para un sistema de montaje de cableado unipolar sobre bandejas, corregida según agrupación y nº de circuitos es de $I_z = 79,2 \text{ A}$.

Escogemos por tanto un magnetotérmico de 63 A como mínimo, entendiendo que nos alejamos de la intensidad admisible del conductor, para evitar el deterioro del cable y que la protección actúe dentro de la curva que tiene asignada.

2ª Condición de protección frente a sobrecargas (UNE 20.460)

La intensidad I_f que produce el disparo seguro del térmico a tiempo con una sobrecarga de tiempo convencional, será menor que la intensidad máxima admisible que soporta el conductor, incrementada en un 45 %.

$$I_f = C_{dt} \cdot I_N \leq 1,45 \cdot I_z$$



La reglamentación vigente (ITC-BT-22), obliga a dimensionar los circuitos y sus protecciones, a efectos de intensidad máxima admisible, cuando se pueden producir sobrecargas previsibles.

En los magnetotérmicos, en caso de sobrecargas, no se asegura el disparo del mismo hasta que se produzca una sobreintensidad que supere a la nominal del dispositivo en un valor dado por el cociente entre la intensidad de fusión a tiempo convencional y la nominal del magnetotérmico ($I_f/I_N = C_{dt}$). A dicho valor lo hemos llamado coeficiente de disparo del térmico (en sobrecargas de tiempo convencional). Este Coeficiente de disparo del térmico viene dado según dos normas distintas, teniendo en cuenta el uso del local:

Coeficiente de disparo del térmico "Cdt" (a sobrecargas de tiempo convencional)			
Norma	I_N	Tc (tiempo convencional)	$C_{dt} = I_f / I_N$
IEC947-2 (uso industrial)	$\leq 63A$	1h	1,3
	$> 63 A$	2h	
EN-60.898 (viviendas y locales de pública concurrencia)	$\leq 63A$	1h	1,45
	$> 63 A$	2h	

Según la EN-60898 (para vivienda y locales de pública concurrencia) la Cdt será de 1,45.

Por tanto,

$$1,45 \cdot I_N \leq 1,45 \cdot I_Z$$

Siendo:

$$I_N = 63 A$$

$$I_Z = 79,2 A$$

3ª Condición de elección del poder de corte

$$Pdc > I_{pcci}(A) = \frac{U_F(V)}{\sqrt{3} Z_t (m\Omega)}$$

El magnetotérmico debe tener un poder de corte (KA) normalizado, superior a la máxima corriente de cortocircuito que pueda pasar por él, para asegurar que funde antes de destruirse. Dicha intensidad de cortocircuito será la del tripolar simétrico o la del cortocircuito fase-tierra según sea trifásica o monofásica la instalación a proteger.

Calculamos la corriente de cortocircuito trifásico del magnetotérmico:

$$I_{pcci} = \frac{U_F(V)}{\sqrt{3} Z_t (m\Omega)}$$

Teniendo en cuenta que los conductores serán de cobre, las resistencias de los tramos hasta la protección magnetotérmica situada aguas arriba (magnetotérmico de 63 A en cabecera) serán de:

$$R_{(inv-proteccion)} = \rho \cdot \frac{L_{(inv-proteccion)}}{S_{(inv-proteccion)}} = 0,018 \frac{mm^2}{m} \cdot \frac{50 \cdot 2 m}{25 mm^2} = 0,072 \Omega$$

Teniendo en cuenta que la inductancia para este tipo de secciones de cableado es de aprox, $0,075\Omega/km$, la inductancia debida a la longitud de los conductores será de:

$$X_L = 0,05 km \cdot \frac{0,075\Omega}{km} = 0,00375 \Omega$$

$$Z_t = R + X_L = 0,07575 \Omega$$

$$I_{pcci} = \frac{400}{\sqrt{3} * 0,07575} = 3.048,71 A$$

Para este tamaño de instalación y teniendo en cuenta que el cortocircuito puede aparecer al principio del cable (con muy baja impedancia), la intensidad de corto puede superar los 3 kA. Por tanto, se propone que a la salida de cada inversor se coloque un interruptor de corte automático de poder de corte mínimo de 6 kA.



4ª Condición de protección frente a cortocircuitos I:

$$I_{MAG} (A) \leq I_{pccf}(A) = \frac{U_F(V)}{2\sqrt{3} Z_t (m\Omega)} = 1.524,36 A$$

Con esta condición aseguramos que una corriente pequeña de cortocircuito no sea confundida por el magnetotérmico como una sobrecarga. Si el magnetotérmico la ve mayor que la IMAG, entonces disparará entre 0,05 y 0,1 segundos.

Dicho tiempo, es el que tarda en disparar el relé magnético y el máximo que durará un cortocircuito en un circuito con protección magnetotérmica.

Curvas de respuestas de magnetotérmicos normalizadas			
Tipos de curva	I_{m1}	$I_{m2} = I_{MAG}$	I_{PR}
Curva B	3In	5In	Consultar tabla
Curva C	5In	10In	Idem.
Curva D-MA	10In	20In	Idem

En nuestro Caso, al ser un magneto de 63 A de curva tipo C o equivalente tendremos que $I_{MAG} = 10 \cdot In$, por lo tanto:

$$I_{MAG} = 630 A < I_{pccf}(A) = 1.524,36 A$$

5ª Condición de protección frente a cortocircuitos II:

$$t_{maxCICCF}(s) > t_d(\text{disparo relé magnético}) = 0,1 s (\text{salvo que sea regulable})$$

Siendo:

$$t_{maxCICCF} = \frac{C_c \cdot S_c^2 (mm^2)^2}{I_{pccf}^2 (A)^2}$$



El tiempo máximo que soporta el conductor la intensidad permanente de cortocircuito "f", deberá de ser mayor que el tiempo máximo que tarda en disparar el relé magnético del magnetotérmico al producirse el cortocircuito.

Reproducimos, la tabla de obtención de la constante C_C :

Valor de la constante C_C UNE 20.460			
Metal	PVC	XLPE-EPR	Goma butílica
Cobre	13,225	20.449	18.225
Aluminio	5,476	8.836	7.565

El valor de la constante es el del cobre XLPE, 20.449.

$$t_{maxCICCF} = \frac{20.449 \cdot 25^2}{1.524,36^2} = 5,5 \text{ s} > 0,1\text{s}$$

11.2 PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS

Los dispositivos diferenciales son un medio eficaz para la protección de las personas contra los riesgos de la corriente eléctrica en baja tensión como consecuencia de un contacto directo. El objetivo de los dispositivos diferenciales residuales (DDR), es detectar las corrientes de defecto de fuga a tierra y actuar interrumpiendo el circuito en caso de que dichas corrientes supongan un peligro para las personas o los bienes.

Los dispositivos diferenciales residuales constituyen también un elemento de vigilancia del aislamiento de los cables y de los receptores eléctricos.

Las normas de aplicación a los interruptores diferenciales para usos domésticos y análogos son la UNE EN 61008 y UNE EN 61009. En el estado español, las características técnicas para la protección contra contactos directos e indirectos vienen recogidas en la ITC-BT-24, así como en el REBT 2002.

Podemos clasificar a los interruptores diferenciales atendiendo a alguna de las características siguientes:

- Tipología del aparato.
- Forma de onda a la que el aparato es sensible (clase AC, A, B).
- Sensibilidad de disparo.
- Tiempo de disparo.

Tipología del aparato y forma de onda

En nuestro caso, la protección diferencial será de tipo bloque diferencial tipo A superinmunizado o sistema equivalente. Esta clase permite detectar corrientes de fuga alternas o pulsantes con o sin componente continua aplicadas bruscamente o de valor creciente. Los interruptores diferenciales de esta clase son especialmente aptos para proteger equipos con componentes electrónicos alimentados directamente por la red eléctrica sin conexión de transformadores, como por ejemplo los utilizados para corregir o regular la corriente mediante variación de una magnitud física (velocidad, temperatura, intensidad luminosa, etc.). Estos aparatos pueden generar una corriente continua pulsante con componente continua que el interruptor diferencial de tipo A puede detectar.



Tiempo de Respuesta

Según el tiempo de disparo, los interruptores diferenciales pueden clasificarse como:

- Instantáneos, tipo G
- Selectivos, tipo S.

Los interruptores diferenciales selectivos (Interruptores diferenciales puros, combinados o bloques DDA) cuentan con un retardo a la desconexión y se instalan aguas arriba de otros interruptores diferenciales instantáneos para asegurar la selectividad y limitar así el corte de servicio eléctrico solamente a la parte de la instalación afectada por el defecto a tierra.

En nuestro caso el bloque diferencial escogido será de tipo Selectivo.

Selectividad, sensibilidad y tiempo de disparo

Con objeto de que un fallo o defecto no deje fuera de servicio la totalidad de la instalación, debe de actuar la protección diferencial más próxima al punto de defecto y que no lo haga cualquier otro dispositivo situado en otro punto de la instalación, para ello es necesario coordinar las protecciones diferenciales, de modo que resulte un conjunto selectivo que dispare el elemento más próximo al punto de defecto y no otro. Es aquí donde entran los parámetros de sensibilidad y tiempo de disparo.

Atendiendo al valor de la corriente diferencial de defecto $I_{\Delta n}$ (sensibilidad), clasificamos a los interruptores diferenciales como de:

- Baja sensibilidad $I_{\Delta n} > 30 \text{ mA}$
- Alta sensibilidad, $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$

Las normas UNE EN 61008, UNE EN 61009 y UNE EN 60947-2, establecen los valores de sensibilidades normalizadas: 6 mA, 10 mA, 30 mA, 100 mA, 300 mA, 500 mA, 1 A, 3 A, 10 A, 30 A, donde los señalados en negrilla son los preferidos o al menos los más utilizados.

En el punto donde conectaremos el cuadro de fotovoltaica, es decir, el embarrado general de Baja Tensión, con lo que no existen protecciones diferenciales aguas arriba del mismo.

Por tanto, los bloques diferenciales que coloquemos aguas abajo deben llevar asociada una selectividad y un tiempo de respuesta adecuados:

- Sensibilidad: 300 mA.
- Tiempo de respuesta < 0,03 sg.

En el caso de que el tiempo de respuesta no pueda ser inferior a la protección superior, se deberá aumentar el mismo aguas arriba para coordinar correctamente las protecciones.

La selectividad y la tensión de contacto admisible vienen coordinados con la resistencia de la instalación de tierra, según la fórmula:

$$R_A \times I_{A_n} = U_L$$

Si tenemos en cuenta que la selectividad escogida es de 300 mA. y la tensión de contacto $U_L = 24 V$ para locales mojados la resistencia máxima de puesta a tierra deberá ser de:

$$R_A = 80 \Omega$$