

TÍTULO: PROYECTO DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO HACIA Balsa BALLABONA (ALMERÍA)

PROMOTOR: SOCIEDAD MERCANTIL ESTATAL DE INFRESTRUCTURAS AGRARIAS (SEIASA)

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN



**ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN
ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN**

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

ÍNDICE DEL ANEJO

1.	ANTECEDENTES.	3
2.	DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN.	3
2.1.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN CC.	3
2.1.1.	CANALIZACIONES EN C.C.	6
2.1.1.1.	CANALIZACIÓN EN LA Balsa.	6
2.1.1.2.	CANALIZACIÓN DESDE LA Balsa AL C.T.	6
2.1.2.	CUADROS DE PROTECCIÓN EN C.C.	7
2.1.3.	CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS EN C.C.	9
2.1.3.1.	CONFIGURACIÓN STRING DE LOS INVERSORES.	13
2.1.3.2.	CABLEADO DESDE LOS MÓDULOS HASTA LOS INVERSORES.	15
2.1.3.3.	CABLEADO DESDE LOS MÓDULOS HASTA LOS INVERSORES.	20
2.1.4.	PUESTA A TIERRA EN C.C.	21
2.2.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN C.A.	22
2.2.1.	CUADRO DE PROTECCIÓN EN C.A.	23
2.2.2.	CÁLCULOS ELÉCTRICOS EN C.A.	25
2.2.2.1.	CABLEADO DESDE LOS INVERSORES HASTA EL TRANSFORMADOR.	27
2.2.3.	PUESTA A TIERRA EN C.A.	30
3.	CONCLUSIONES.	31

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

1. ANTECEDENTES.

Se redacta el presente documento para definir y dimensionar la parte de la instalación en baja tensión que será desde los módulos fotovoltaicos hasta el cuadro de baja tensión del centro de transformación proyectado pasando por los inversores.

2. DESCRIPCIÓN INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN.

En este apartado realizaremos los cálculos eléctricos en baja tensión, existiendo dos partes bien diferenciadas:

- **Corriente Continua (cc):** Es la parte de la instalación que conecta los módulos entre sí y además transporta la energía generada desde dichos módulos hasta el inversor solar.
- **Corriente Alterna (ca):** Es la parte de la instalación que va desde el inversor solar hasta los cuadros de baja tensión del centro de transformación elevador de tensión. El citado transformador se proyecta en las proximidades de la Balsa “Abellán” para pasar la tensión desde los 400 V (Baja Tensión) que genera el inversor hasta los 25 kV (Alta Tensión) para transportar la energía generada desde la balsa hasta el Bombeo “Ballabona” que es la carga final a alimentar. Esta parte de la instalación de Alta Tensión se definirá en su Anejo correspondiente.

2.1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN CC.

El cableado de la instalación se realizará acorde con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión vigente y a los cálculos eléctricos adjuntos al final del presente apartado. Serán adecuados para uso en intemperie, al aire o enterrado, el tipo será H1Z2Z2-K 1,5 (1,8) kV de Cu, las secciones se justifican más adelante.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Se detallan a continuación las agrupaciones de módulos y string proyectados:

- **Módulos solares:** Son de 545 Wp, con un voltaje a máxima potencia de 41,80 V y una intensidad a máxima potencia de 13,04 A, resultando así:

$$P = 41,80 \text{ V} \times 13,04 \text{ A} = 545 \text{ Wp}$$

- **Inversores solares:** Son 4 unidades de 100 kW de potencia nominal de salida, con las siguientes características de entrada:
 - Rango de potencia FV: 101,20 – 145 kWp
 - Rango tensión de entrada: 570 – 850 V
 - Corriente máxima de entrada: 185 A
- **Agrupación de módulos (string):** Cada string tiene 16 módulos y la instalación se compone de 50 string, resultando así:

$$\text{Nº módulos} = 50 \times 16 = 800$$

$$\text{Potencia pico: } 800 \text{ módulos} \times 545 \text{ Wp/módulo} = 436.000 \text{ Wp} = 436 \text{ kWp}$$

Los 16 módulos que componen el string se interconectarán en serie y se agruparán de la siguiente manera:

- Agrupación 1 (Inversor nº 1) -> 13 string de 16 placas cada uno: 208 módulos
- Agrupación 2 (Inversor nº 2) -> 13 string de 16 placas cada uno: 208 módulos
- Agrupación 3 (Inversor nº 3) -> 12 string de 16 placas cada uno: 192 módulos
- Agrupación 4 (Inversor nº 4) -> 12 string de 16 placas cada uno: 192 módulos

Total: 800 módulos

Desde la balsa se llevarán los 50 circuitos independientes, uno por string, hasta la caseta del Centro de Transformación.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Estos circuitos harán su entrada en los cuadros de protecciones de corriente continua y desde ahí saldrán hasta su inversor correspondiente. Vamos a confirmar que las entradas de las Agrupaciones en los Inversores cumplen con los rangos de potencia, tensión e intensidad de dichos Inversores.

➤ **Agrupaciones 1 y 2** -> 13 string de 16 placas cada uno: 208 módulos

- $P = 208 \text{ módulos} \times 545 \text{ Wp/módulo} = 113.360 \text{ Wp} = 113,36 \text{ kWp}$

- $V_{(16 \text{ módulos serie})} = 16 \times 41,80 \text{ V} = 668,80 \text{ V}$

- $I_{(16 \text{ módulos serie})} = 13,04 \text{ A}$

- $I_{\text{TOTAL}} = 13 \times 13,04 \text{ A} = 169,52 \text{ A}$

Valores Agrupaciones 1 y 2:

- Potencia: 113,36 kWp; entre 101,20 – 145 kWp -> Cumple

- Tensión: 668,80 V; entre 570 – 850 V -> Cumple

- Corriente: 169,52 A; menor que 185 A -> Cumple

➤ **Agrupaciones 3 y 4** -> 12 string de 16 placas cada uno: 192 módulos

- $P = 192 \text{ módulos} \times 545 \text{ Wp/módulo} = 104.640 \text{ Wp} = 104,64 \text{ kWp}$

- $V_{(16 \text{ módulos serie})} = 16 \times 41,80 \text{ V} = 668,80 \text{ V}$

- $I_{(16 \text{ módulos serie})} = 13,04 \text{ A}$

- $I_{\text{TOTAL}} = 12 \times 13,04 \text{ A} = 156,48 \text{ A}$

Valores Agrupaciones 3 y 4:

- Potencia: 104,64 kWp; entre 101,20 – 145 kWp -> Cumple

- Tensión: 668,80 V; entre 570 – 850 V -> Cumple

- Corriente: 156,48 A; menor que 185 A -> Cumple

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Los circuitos irán protegidos mediante una canalización de tubo corrugado flotante con una longitud suficiente para el caso más desfavorable que sería la planta posada en cota cero. Una vez fuera de la balsa discurrirán enterrados bajo tubo hasta el C.T. Proyectado.

2.1.1. CANALIZACIONES EN C.C.

Existen dos tipos de canalizaciones para el cableado de corriente continua desde la balsa hasta el centro de transformación proyectado, donde se ubican los inversores:

- **Canalización en la balsa**, canalización flotante mediante 16 tubos de PVC flexible espiralado de 50 mm de diámetro.
- **Canalización desde la balsa al CT**, canalización subterránea mediante 6 tubos de polietileno corrugado PE de 160 mm de diámetro en zanja de 1,10 x 0,60 m.

2.1.1.1. CANALIZACIÓN EN LA Balsa.

Se dispondrán los tubos de manera que queden flotantes sobre la lámina de agua y con una longitud mayor a la necesaria entre los módulos y el final de la balsa para asegurar en todo momento que ante la diferencia de altura que se puedan producir en la lámina de agua no se queden los cables fuera de la canalización.

2.1.1.2. CANALIZACIÓN DESDE LA Balsa AL C.T.

Una vez abierta la zanja para la canalización eléctrica, se actuará de la manera que se describe a continuación:

- Se colocan los tubos en base tres en una cama de arena AF-0/4 a una distancia vertical de 3 cm desde la base de la zanja y separación de 5 cm. En horizontal se instalarán centrados en la misma con una separación entre ejes de 20 cm.
- Relleno de los tubos 15 cm por encima de su generatriz superior con arena AF-0/4 compactada con bandeja vibrante manual.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

- Relleno con zahorra artificial de 28 cm de altura con zahorra artificial compactada al 95% del proctor normal.
- Colocación de cinta señalizadora encima de cada uno de los tres tubos en línea de la zanja.
- Reposición de firme y compactado hasta llegar a la cota natural del terreno.

2.1.2. CUADROS DE PROTECCIÓN EN C.C.

Las primeras protecciones del sistema se sitúan entre los módulos fotovoltaicos y los inversores. Las protecciones en el caso de CC presentan más problemas que en CA, esto se debe a que en la corriente alterna siempre se pasa por el cero de corriente en cada semiperíodo, con lo que se consigue un apagado espontáneo del arco eléctrico. En la corriente continua esto no sucede y se debe disminuir la corriente hasta anularla. Además, es necesario que la interrupción sea gradual, pues hacerlo de forma brusca daría lugar a sobretensiones elevadas.

Se dispondrán cuatro unidades de cuadros de protección para cada una de las Agrupaciones anteriormente descritas, las protecciones de cada circuito serán las siguientes:

- **Interruptor seccionador:** Los interruptores de continua tendrán la función de aislar zonas del sistema de captación para labores de mantenimiento de los módulos fotovoltaicos.

Se colocarán 12 ó 13 interruptores de este tipo, según las agrupaciones y al abrirlos proporcionarán un aislamiento eficaz de los ramales pertenecientes a subgrupo del interruptor.

Para la elección de los interruptores-seccionadores se tendrán en cuenta dos parámetros, la tensión de servicio de la línea y la corriente que deben de ser capaces de interrumpir al abrirse.

$$- V_{(16 \text{ módulos serie})} = 16 \times 41,80 \text{ V} = 668,80 \text{ V}$$

$$- I_{(16 \text{ módulos serie})} = 13,04 \text{ A}$$

Por lo que el interruptor seccionador seleccionado tendrán un voltaje de trabajo de al menos 1.000 V y una intensidad nominal de 16 A.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

- **Fusible:** Una sobrecarga es el exceso de intensidad en un circuito, debido a un defecto de aislamiento, una avería o una demanda excesiva de carga.

El efecto principal de una sobrecarga es el calentamiento de los conductores a temperaturas no admisibles, provocando el deterioro de estos y de sus aislantes, y reduciendo su vida útil. Una sobrecarga no despejada a lo largo del tiempo puede degenerar en cortocircuito.

La protección deberá despejar en un tiempo inversamente proporcional a la intensidad de sobrecarga.

Para el cálculo de las protecciones vendrán dispuestas establecidas en la norma UNE-HD 60367-7-712, en su apartado 712.431.102, estableciendo la intensidad nominal del dispositivo protector (fusible).

$$1,1*ISCMÁX \leq IN \leq IMOD_MÁX_OCPR$$

Siendo:

- ➔ ISCMÁX es la intensidad máxima de cortocircuito que se calcula según el anexo B de la citada norma.
- ➔ IMOD_MÁX_OCPR es la intensidad máxima que soporta el panel fotovoltaico.

Para el cálculo de la corriente máxima de cortocircuito (ISCMÁX), nos basaremos en el apartado B.2 de la norma en cuestión, que establece el procedimiento a emplear.

$$ISCMÁX = K1*ISC\ STC$$

Siendo:

- ➔ K1, coeficiente de mayoración cuyo valor será 1,25.
- ➔ ISC STC: 13,92 A (valor extraído de las características de las placas)

$$ISCMÁX = 1,25*13,92 = 17,4A$$

Sustituyendo el valor de ISCMÁX en la ecuación de arriba, obtenemos el rango de intensidad en el que debe estar comprendido el fusible.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

$$1,1 \cdot 17,4 = 19,14 \leq IN \leq 20$$

Por lo tanto, el fusible seleccionado para dicha instalación será de 20 A dado que es mayor que 19,14 y menor que 20 A (gPV), valor máximo de fusible permitido por el módulo.

En resumen, las protecciones quedarán como siguen:

- **Agruación 1 (Cuadro de protección nº1)** -> 13 string de 16 placas cada uno: 208 módulos.
 - Interruptor seccionador de 16 A (13 unidades)
 - Fusibles de 20 A (26 unidades, 2 unidades por circuito)

- **Agruación 2 (Cuadro de protección nº2)** -> 13 string de 16 placas cada uno: 208 módulos.
 - Interruptor seccionador de 16 A (13 unidades)
 - Fusibles de 20 A (26 unidades, 2 unidades por circuito)

- **Agruación 3 (Cuadro de protección nº3)** -> 12 string de 16 placas cada uno: 192 módulos.
 - Interruptor seccionador de 16 A (12 unidades)
 - Fusibles de 20 A (24 unidades, 2 unidades por circuito)

- **Agruación 4 (Cuadro de protección nº4)** -> 12 string de 16 placas cada uno: 192 módulos.
 - Interruptor seccionador de 16 A (12 unidades)
 - Fusibles de 20 A (24 unidades, 2 unidades por circuito)

2.1.3. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS EN C.C.

Fórmulas

Emplearemos las siguientes:

Sistema Monofásico y corriente continua:

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

$$I = P_c / U \times \cos\varphi \times R = \text{amp (A)}$$

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

En 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 ó Monofásica).

S = Sección del conductor en mm^2 .

$\cos\varphi$ = Coseno de φ . Factor de potencia.

R = Rendimiento. (Para líneas motor).

n = Nº de conductores por fase.

X_u = Reactancia por unidad de longitud en $\text{m}\Omega/\text{m}$.

Fórmula Conductividad Eléctrica

$$K = 1/\rho$$

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

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

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.

$$\text{Cu} = 0.018$$

$$\text{Al} = 0.029$$

α = Coeficiente de temperatura:

$$\text{Cu} = 0.00392$$

$$\text{Al} = 0.00403$$

T = Temperatura del conductor (°C).

T_0 = Temperatura ambiente (°C):

$$\text{Cables enterrados} = 25^\circ\text{C}$$

$$\text{Cables al aire} = 40^\circ\text{C}$$

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

$$\text{XLPE, EPR} = 90^\circ\text{C}$$

$$\text{PVC} = 70^\circ\text{C}$$

I = Intensidad prevista por el conductor (A).

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

Fórmulas Sobrecargas

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 I_z$$

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

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

toma igual:

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

Fórmulas Cortocircuito

$$* I_{pccI} = C_t U / \sqrt{3} Z_t$$

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).

$$* I_{pccF} = C_t U_F / 2 Z_t$$

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 la línea o circuito (por tanto es igual a la impedancia en origen mas la propia del conductor o línea).

* La impedancia total hasta el punto de cortocircuito será:

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

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.)

$$R = L \cdot 1000 \cdot C_R / K \cdot S \cdot n \quad (\text{mohm})$$

$$X = X_u \cdot L / n \quad (\text{mohm})$$

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 mm².

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

n : nº de conductores por fase.

$$* t_{mcicc} = C_c \cdot S^2 / I_{pccF}^2$$

Siendo,

t_{mcicc} : Tiempo máximo en sg que un conductor soporta una I_{pcc} .

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

S : Sección de la línea en mm².

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

$$* t_{ficc} = cte. \text{ fusible} / I_{pccF}^2$$

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Siendo,

t_{ficc} : tiempo de fusión de un fusible para una determinada intensidad de cortocircuito.

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

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

Siendo,

L_{max} : Longitud máxima de conductor protegido a c.c. (m) (para protección por fusibles)

U_F : Tensión de fase (V)

K: Conductividad

S: Sección del conductor (mm²)

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

n: nº de conductores por fase

$C_t = 0,8$: Es el coeficiente de tensión.

$C_R = 1,5$: Es el coeficiente de resistencia.

I_{F5} = Intensidad de fusión en amperios de fusibles en 5 sg.

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

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

Fórmulas Embarrados

Cálculo electrodinámico

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

Siendo,

σ_{max} : Tensión máxima en las pletinas (kg/cm²)

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

L: Separación entre apoyos (cm)

d: Separación entre pletinas (cm)

n: nº de pletinas por fase

W_y : Módulo resistente por pletina eje y-y (cm³)

σ_{adm} : Tensión admisible material (kg/cm²)

Comprobación por sollicitación térmica en cortocircuito

$$I_{cccs} = K_c \cdot S / (1000 \cdot \sqrt{t_{cc}})$$

Siendo,

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

I_{cccs} : 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)

Kc: Constante del conductor: Cu = 164, Al = 107

Fórmulas Resistencia Tierra

Placa enterrada

$$R_t = 0,8 \cdot \rho / P$$

TÍTULO: PROYECTO DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO HACIA Balsa BALLABONA (ALMERÍA)

PROMOTOR: SOCIEDAD MERCANTIL ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRARIAS (SEIASA)

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Siendo,

Rt: Resistencia de tierra (Ohm)

ρ : Resistividad del terreno (Ohm·m)

P: Perímetro de la placa (m)

Pica vertical

$$R_t = \rho / L$$

Siendo,

Rt: Resistencia de tierra (Ohm)

ρ : Resistividad del terreno (Ohm·m)

L: Longitud de la pica (m)

Conductor enterrado horizontalmente

$$R_t = 2 \cdot \rho / L$$

Siendo,

Rt: Resistencia de tierra (Ohm)

ρ : Resistividad del terreno (Ohm·m)

L: Longitud del conductor (m)

Asociación en paralelo de varios electrodos

$$R_t = 1 / (L_c/2\rho + L_p/\rho + P/0,8\rho)$$

Siendo,

Rt: Resistencia de tierra (Ohm)

ρ : Resistividad del terreno (Ohm·m)

Lc: Longitud total del conductor (m)

Lp: Longitud total de las picas (m)

P: Perímetro de las placas (m)

2.1.3.1. CONFIGURACIÓN STRING DE LOS INVERSORES.

MÓDULO FV: LONGI Mono PERC 545 LR5-72HPH-HiMO5 (545Wp)
INVERSOR: INGECON SUN 100TL (145 kW)

Módulo fotovoltaico:

Potencia (Wp)	545
V_{mpp} (V)	41,8
I_{mpp} (A)	13,04
V_{oc} (V)	49,65
I_{sc} (A)	13,92
Coef. T^a (P_{mpp}), %/°C	-0,35
Coef. T^a (V_{oc}), %/°C	-0,284
Coef. T^a (I_{sc}), %/°C	0,05
V máx. (V)	1500

TÍTULO: PROYECTO DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO HACIA Balsa BALLABONA (ALMERÍA)

PROMOTOR: SOCIEDAD MERCANTIL ESTATAL DE INFRESTRUCTURAS AGRARIAS (SEIASA)

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Valores límite Tª

módulo:

T _{mín} (°C)	5
T _{máx} (°C)	70
T (C.N.), °C	25

Coeficientes Tª:

-118,712	β (mV/°C)
0,00652	α (A/°C)

Inversor:

Pot. Máx CC (kWp)	145,00
Nº ramas	1
Pcc máx rama (kWp)	145
Pot. Máx CA (kW)	100,00
Pot. Nom CA (kW)	100,00
Vcc nom (V)	850
Vcc máx (V)	1100
Icc máx (A)	240
Rama	1
Icc máx rama (A)	240
Isc rama	240

Cálculo configuraciones serie:

INVERSORES 1 AL 2

Rama	1
Nserie módulos por string:	16
P _{mpp} (Wp)	8.720
I _{mpp} (A)	13,04
Isc (A)	13,92
V _{máx} fijada (V)	668.80
Nº de string al inversor:	13
I _{mpp} (A)	169,52
P _{mpp} (Wp)	113.360
Nº módulos	208
Total módulos	208
Potencia (kWp)	113,36

INVERSORES 3 AL 4

Rama	1
Nserie módulos por string:	16
P _{mpp} (Wp)	8.720
I _{mpp} (A)	13,04
Isc (A)	13,92
V _{máx} fijada (V)	668.80
Nº de string al inversor:	12
I _{mpp} (A)	156,48
P _{mpp} (Wp)	104.640
Nº módulos	192
Total módulos	192

TÍTULO: PROYECTO DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO HACIA Balsa BALLABONA (ALMERÍA)

PROMOTOR: SOCIEDAD MERCANTIL ESTATAL DE INFRESTRUCTURAS AGRARIAS (SEIASA)

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Potencia (kWp) 104,64

Cálculo configuración serie/paralelo:

	INV 1	INV 2	INV 3	INV 4	TOTAL
Pmpp (Wp)	113.360	113.360	104.640	104.640	436.000

2.1.3.2. CABLEADO DESDE LOS MÓDULOS HASTA LOS INVERSORES.

- Tensión de servicio 41,80 V x 16 módulos = 668,80 V
- Caída de tensión máxima 1,5 %
- Nivel de Aislamiento 1,5 (1,8) kV
- Material del conductor Cobre flexible (clase 5)
- Aislamiento del cable Termoestable (Z2)
- Cubierta del cable Termoestable (Z2)
- Intensidad I= 13,04 A
- Método de instalación en la Balsa Bajo tubo flotante en balsa
- Método de instalación desde la balsa hasta CT Proyectado Enterrado bajo tubo

- **Cálculo de la sección por caída de tensión:**

Para un cable de cobre, con aislamiento termoplástico se estiman las siguientes caídas de tensión:

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

	En función de P	En función de l y cos φ
Monofásica y c.c.	$S = \frac{2 \cdot l \cdot P}{\Delta V \cdot V \cdot \gamma_{\theta}}$	$S = \frac{2 \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\Delta V \cdot \gamma_{\theta}}$
Trifásica	$S = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot P}{\Delta V \cdot V \cdot \gamma_{\theta}}$	$S = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I \cdot \cos \varphi}{\Delta V \cdot \gamma_{\theta}}$

Donde:

- S es la sección del conductor (mm²)
- l es la longitud de la línea (m)
- I es la intensidad prevista en la línea (A)
- ΔV es la caída de tensión máxima permitida en la línea (V)
- γθ conductividad del conductor de cobre a la temperatura de servicio θ prevista (s·m/mm²). La conductividad del conductor se debe tomar a la temperatura de servicio del cable que, para el caso habitual de aislamiento termoestable, a 90°C es γ90 = 45,49 s · m/mm²
- V es la tensión de línea (V)
- P es la potencia activa transportada por la línea (W)
- cos φ Factor de potencia de la carga al final de la línea. En los circuitos de c.c. se utilizan las fórmulas de monofásica sin este término ya que se trata de corriente continua.

Líneas con salida al Inversor Nº 1:

INVERSOR 1	LONGITUD (cable +; cable -)		Nº PANELES	Tensión String (V)	Potencia string (kW)	l cálculo (A)	Caída tensión (%) (V)	Caída tensión (V)	Sección (mm ²)
STRING 1.1	174,5	163,5	16	668,8	8,72	13,04	1,23	8,19	10
STRING 1.2	163,5	152,5	16	668,8	8,72	13,04	1,15	7,68	10
STRING 1.3	152,5	141,5	16	668,8	8,72	13,04	1,07	7,14	10
STRING 1.4	141,5	130,5	16	668,8	8,72	13,04	0,99	6,62	10
STRING 1.5	130,5	119,5	16	668,8	8,72	13,04	0,92	6,11	10
STRING 1.6	119,5	108,5	16	668,8	8,72	13,04	1,4	9,35	6
STRING 1.7	108,5	97,5	16	668,8	8,72	13,04	1,27	8,49	6
STRING 1.8	97,5	86,5	16	668,8	8,72	13,04	1,14	7,63	6
STRING 1.9	86,5	75,5	16	668,8	8,72	13,04	1,01	6,77	6
STRING 1.10	81	72,2	16	668,8	8,72	13,04	1,42	3,79	4
STRING 1.11	163,5	169	16	668,8	8,72	13,04	1,15	7,68	10
STRING 1.12	152,5	163,5	16	668,8	8,72	13,04	1,07	7,14	10
STRING 1.13	141,5	152,5	16	668,8	8,72	13,04	0,99	6,64	10

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Líneas con salida al Inversor Nº 2:

INVERSOR 2	LONGITUD (cable +; cable -)		Nº PANELES	Tensión String (V)	Potencia string (kW)	Icálculo (A)	Caída tensión (%) (V)	Caída tensión (V)	Sección (mm ²)
STRING 2.1	141,5	136	16	668,8	8,72	13,04	0,99	6,64	10
STRING 2.2	136	130,5	16	668,8	8,72	13,04	0,95	6,39	10
STRING 2.3	125	119,5	16	668,8	8,72	13,04	1,46	9,78	6
STRING 2.4	114	108,5	16	668,8	8,72	13,04	1,33	8,92	6
STRING 2.5	103	97,5	16	668,8	8,72	13,04	1,21	8,06	6
STRING 2.6	92	86,5	16	668,8	8,72	13,04	1,08	7,2	6
STRING 2.7	81	75,5	16	668,8	8,72	13,04	1,42	9,51	6
STRING 2.8	185,5	191	16	668,8	8,72	13,04	1,3	8,71	10
STRING 2.9	174,5	180	16	668,8	8,72	13,04	1,23	8,19	10
STRING 2.10	163,5	169	16	668,8	8,72	13,04	1,15	7,68	10
STRING 2.11	152,5	158	16	668,8	8,72	13,04	1,07	7,16	10
STRING 2.12	141,5	147	16	668,8	8,72	13,04	0,99	6,64	10
STRING 2.13	130,5	136	16	668,8	8,72	13,04	0,91	6,1	10

Líneas con salida al Inversor Nº 3:

INVERSOR 3	LONGITUD (cable +; cable -)		Nº PANELES	Tensión String (V)	Potencia string (kW)	Icálculo (A)	Caída tensión (%) (V)	Caída tensión (V)	Sección (mm ²)
STRING 3.1	103	97,5	16	668,8	8,72	13,04	1,21	8,06	6
STRING 3.2	92	86,5	16	668,8	8,72	13,04	1,08	7,2	6
STRING 3.3	81	75,5	16	668,8	8,72	13,04	1,42	9,51	4
STRING 3.4	75,5	75,5	16	668,8	8,72	13,04	1,33	8,86	4
STRING 3.5	174,5	108,5	16	668,8	8,72	13,04	1,23	8,19	10
STRING 3.6	163,5	158	16	668,8	8,72	13,04	1,15	7,68	10
STRING 3.7	152,5	147	16	668,8	8,72	13,04	1,07	7,16	10
STRING 3.8	141,5	136	16	668,8	8,72	13,04	0,99	6,64	10
STRING 3.9	130,5	125	16	668,8	8,72	13,04	0,92	6,13	10
STRING 3.10	119,5	114	16	668,8	8,72	13,04	1,4	9,35	6
STRING 3.11	103	97,5	16	668,8	8,72	13,04	1,21	8,06	6
STRING 3.12	92	97,5	16	668,8	8,72	13,04	1,08	7,2	6

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Líneas con salida al Inversor Nº 4:

INVERSOR 4	LONGITUD (cable +; cable -)		Nº PANELES	Tensión String (V)	Potencia string (kW)	Icálculo (A)	Caída tensión (%) (V)	Caída tensión (V)	Sección (mm ²)
STRING 4.1	86,5	81	16	668,8	8,72	13,04	1,01	6,77	6
STRING 4.2	75,5	75,5	16	668,8	8,72	13,04	1,33	8,86	4
STRING 4.3	169	174,5	16	668,8	8,72	13,04	1,19	7,93	10
STRING 4.4	158	163,5	16	668,8	8,72	13,04	1,11	7,42	10
STRING 4.5	147	152,5	16	668,8	8,72	13,04	1,03	6,9	10
STRING 4.6	136	141,5	16	668,8	8,72	13,04	0,95	6,39	10
STRING 4.7	125	130,5	16	668,8	8,72	13,04	1,46	9,78	6
STRING 4.8	114	119,5	16	668,8	8,72	13,04	1,33	8,92	6
STRING 4.9	103	108,5	16	668,8	8,72	13,04	1,21	8,06	6
STRING 4.10	97,5	97,5	16	668,8	8,72	13,04	1,14	7,63	6
STRING 4.11	86,5	81	16	668,8	8,72	13,04	1,01	6,77	6
STRING 4.12	75,5	75,5	16	668,8	8,72	13,04	1,33	8,86	4

Con objeto de uniformizar las secciones a implementar, facilitando su ejecución en obra y aseverar la adecuación de solución proyectada por el resto de criterios, como veremos posteriormente, se opta por el empleo en todos los strings de secciones de 10 mm² de Cu H1Z2Z2-K 1,5 (1,8) kV. Obviamente, dicha solución ratifica la idoneidad del cableado propuesto por el criterio de caída de tensión, como acabamos de verificar.

Longitud total cable +: 6.255,50 m

Longitud total cable -: 6.087,20 m

- **Cálculo de la sección por calentamiento:**

En este caso se toma para la comparación la intensidad de las series sobredimensionadas un 125 % según la ITC-BT-40.

Los factores de corrección aplicados son los siguientes:

- Según norma UNE-HD 60364-5-52, tabla B.52.19 B), para dos circuitos unipolares en contacto, factor de corrección de 0,8
- Según norma francesa NF C 15-100 Tabla 52T, el factor de reducción para agrupamiento para 6 circuitos enterrados en el mismo tubo, factor de corrección de 0,41
- Según REBT-ITC-07 Cables enterrados en zanja en el interior de tubos o similares a profundidades distintas de 0,8, factor de corrección de 0,99
- Según UNE-EN 50618:2015, tabla Tabla A.4 Factor de corrección T^a ambiente de 25 °C, factor de corrección de 0,96

Según la norma UNE-HD 60364-5-52, Tabla C.52.2 bis, para 2 cables unipolares de 10 mm² de sección con aislamiento H1Z2Z2-K, bajo tubo flotante y enterrado bajo tubo en el resto (más desfavorable), se tiene que su intensidad admisible es de 72 A. Por tanto, para nuestro caso cumple:

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

$$I'_{adm} = 72 * 0,8 * 0,41 * 0,99 * 0,96 = 22,44 \text{ A (10 mm}^2\text{)}$$

$$I'_{adm} = 22,44 \text{ A} > 16,3 \text{ A (siendo (13,04 x 1,25) la intensidad de cálculo máxima)}$$

Se utilizarán en todos los strings conductores unipolares de 10 mm² de sección con aislamiento en H1Z2Z2-K.

- Cálculo de la sección por cortocircuito:

Consideramos la corriente de cortocircuito de un módulo fotovoltaico extraído de sus características técnicas como I_{sc} = 13,92 A.

Como todos los string son de 16 módulos en serie, la intensidad de cortocircuito que circulará por ellos es la de un módulo, es decir, I_{SC (16 módulos serie)} = 13,92 A.

Vamos a comprobar en la siguiente tabla extraída de la norma UNE 204460-4-43, la intensidad de cortocircuito máxima para cables con aislamiento termoestable, para una temperatura máxima en cortocircuito de 250 °C y duración del cortocircuito 0,1 segundos.

Intensidades de cortocircuito admisibles

SEGÚN UNE 20460-4-43

INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO MÁXIMA ADMISIBLE (A) PARA CABLES CON AISLAMIENTO TERMOESTABLE (POLIETILENO RETICULADO (XLPE), SILICONA, POLIOLEFINA Z) y CONDUCTORES DE Cu. TEMPERATURA MÁXIMA EN CORTOCIRCUITO 250 ° C (0,1 < t ≤ 5 segundos). k= 143.

SECCIÓN (mm ²)	DURACIÓN DEL CORTOCIRCUITO EN SEGUNDOS												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
0,5	226	160	131	113	101	72	58	51	45	41	38	36	34
0,75	339	240	196	170	152	107	88	76	68	62	57	54	51
1	452	320	261	226	202	143	117	101	90	83	76	72	67
1,5	678	480	392	339	303	215	175	152	136	124	115	107	101
2,5	1.131	799	653	565	506	358	292	253	226	206	191	179	169
4	1.809	1.279	1.044	904	809	572	467	404	362	330	306	286	270
6	2.713	1.919	1.566	1.357	1.213	858	701	607	543	495	459	429	404
10	4.522	3.198	2.611	2.261	2.022	1.430	1.168	1.011	904	826	764	715	674
16	7.235	5.116	4.177	3.618	3.236	2.288	1.868	1.618	1.447	1.321	1.223	1.144	1.079
25	11.305	7.994	6.527	5.653	5.056	3.575	2.919	2.528	2.261	2.064	1.911	1.788	1.685
35	15.827	11.192	9.138	7.914	7.078	5.005	4.087	3.539	3.165	2.890	2.675	2.503	2.359
50	22.610	15.988	13.054	11.305	10.112	7.150	5.838	5.056	4.522	4.128	3.822	3.575	3.371
70	31.654	22.383	18.276	15.827	14.156	10.010	8.173	7.078	6.331	5.779	5.351	5.005	4.719
95	42.960	30.377	24.803	21.480	19.212	13.585	11.092	9.606	8.592	7.843	7.261	6.793	6.404
120	54.265	38.371	31.330	27.132	24.268	17.160	14.011	12.134	10.853	9.907	9.172	8.580	8.089
150	67.831	47.964	39.162	33.915	30.335	21.450	17.514	15.167	13.566	12.384	11.466	10.725	10.112
185	83.658	59.155	48.300	41.829	37.413	26.455	21.600	18.707	16.732	15.274	14.141	13.228	12.471
240	108.529	76.742	62.659	54.265	48.536	34.320	28.022	24.268	21.706	19.815	18.345	17.160	16.179
300	135.662	95.927	78.324	67.831	60.670	42.900	35.028	30.335	27.132	24.768	22.931	21.450	20.223

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Como vemos:

- Para 10 mm² es de 4.522 A > $I_{SC} (16 \text{ módulos serie}) = 13,92 \text{ A}$, por tanto cumple.

2.1.3.3. CABLEADO DESDE LOS MÓDULOS HASTA LOS INVERSORES.

Los conductores en este tramo de la instalación discurrirán bajo tubo flotante en la balsa y enterrado bajo tubo en el tramo entre la balsa y el CT proyectado. Las dimensiones de dichos tubos se calculan con respecto a lo dispuesto en las instrucciones técnicas complementarias en baja tensión (ITC-BT 21). Según la Tabla 2 que para más de 5 conductores por tubo o para conductores aislados o cables de secciones diferentes a instalar en el mismo tubo, su sección interior será, como mínimo igual a 2,5 veces la sección ocupada por los conductores. Según la Tabla 9 que para más de 10 conductores por tubo o para conductores aislados o cables de secciones diferentes a instalar en el mismo tubo, su sección interior será, como mínimo igual a 4 veces la sección ocupada por los conductores.

Consideramos 50 circuitos desde cada string de 2x10 mm² de sección, vamos a calcular el diámetro de cada circuito y qué sección interior de tubo necesitamos.

Para 1x10 mm² el diámetro exterior del conductor es de 8,8 mm, extraído de la ficha de características del cable H1Z2Z2-K 1,5 (1,8) kV, por tanto, su sección total es de 60,82 mm²

En el tramo flotante, **utilizaremos 16 tubos de 50 mm de diámetro.**

- 50 circuitos de 2x10 mm², consideramos un máximo de 7 cables tubo, lo que equivaldría a un diámetro aparente aproximado 26.4 mm, y por lo tanto, una sección de 547 mm² de sección interior en tubos.
- Aplicando los requisitos de la Tabla 2 de la ITC-BT 21, necesitamos: $2,5 \times 547 = 1.368 \text{ mm}^2$ de diámetro interior de tubo.
- Vamos a utilizar tubos de PVC flexible espiralado de diámetro interior 50 mm:
 - Diámetro interior: 50,00 mm
 - Sección interior: 1.963,50 mm²
 - $1.963,50 \text{ mm}^2 > 1.368 \text{ mm}^2$ cumple con 16 tubos de Ø50 mm.

En el tramo soterrado, **utilizaremos 6 tubos de 160 mm de diámetro exterior.**

- 50 circuitos de 2x10 mm², consideramos un máximo de 25 cables tubo, lo que equivaldría a un diámetro aparente aproximado 53 mm, y por lo tanto, una sección de 2.206 mm² de sección interior en tubos.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

- Aplicando los requisitos de la Tabla 9 de la ITC-BT 21, necesitamos:
 $4 \times 2.206 = 8.824 \text{ mm}^2$ de diámetro interior de tubo.
- Vamos a utilizar tubos de PE de diámetro exterior 160 mm:
 - Diámetro interior: 136,60 mm
 - Sección interior: 14.655 mm^2
 - $14.655 \text{ mm}^2 > 8.824 \text{ mm}^2$ cumple con 6 tubos (2 reserva) de $\varnothing 160 \text{ mm}$.

2.1.4. PUESTA A TIERRA EN C.C.

La puesta a tierra para la planta fotovoltaica instalada sobre balsa se contempla como una instalación aislada de tierra, por lo que no se considera necesario conectar los marcos de los paneles solares a una puesta a tierra específica.

En el Centro de Transformación proyectado se conectarán todas las masas en corriente continua, existiendo, por tanto, una toma de tierra independiente para la instalación de inversores y cuadros de continua, con el objeto de la protección a la instalación de derivaciones y a las personas en contacto directo sobre las masas de la instalación si en estas se produjera avería.

En el caso de que se corroborase que la tensión de defecto que pudiese aparecer en el CT, condujese a una sobretensión a frecuencia industrial admisible por los equipos comentados, podría aceptarse su conexión a la tierra de protección o herrajes del CT.

La sección de los conductores de protección vendrá dada por la siguiente tabla de la ITC-BT-18 del REBT:

Sección de los conductores de fase de la instalación $S \text{ (mm}^2\text{)}$	Sección mínima de los conductores de protección $S_p \text{ (mm}^2\text{)}$
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Tabla 5- Relación entre los conductores de protección y los de fase de la instalación.

Se proyecta una instalación de puesta a tierra constituida por cable de cobre aislado de 35 mm^2 de sección protección 0,6/1 kV (aprox. 15 metros), cable de cobre desnudo de 35 mm^2 de sección (aprox. 10 metros) y un mínimo de 3 picas de acero-cobre de 2 metros.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Atendiendo a la naturaleza del terreno, se asumirá una la resistividad del terreno de 150 Ωm, según valores proporcionados en el anejo de alta tensión.

$$R_{picas} = \frac{\rho}{n * L}$$

Rpicas: Resistencia del grupo de n picas dispuestas en paralelo, Ω.

n: Número de picas dispuestas en paralelo.

L: longitud de la pica, m.

ρ: Resistividad del terreno en Ω.m.

$$R_{conductor} = \frac{2 * \rho}{L}$$

Rconductor: Resistencia del conductor enterrado, Ω.

L: longitud del conductor, m.

ρ: Resistividad del terreno en Ω.m.

$$R_T = \frac{R_{conductor} * R_{picas}}{R_{conductor} + R_{picas}}$$

Conduciendo a un valor de 13,64 Ω, valor que resulta correcto dentro del marco global del proyecto, aunque se deberá estudiar el terreno y la resistividad del mismo para efectuar correcciones si fuesen necesarias en la ejecución de la obra.

2.2. INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN C.A.

El cableado de la instalación se realizará acorde con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión vigente y a los cálculos eléctricos adjuntos al final del presente apartado. Serán adecuados para uso en intemperie, al aire o enterrado, los cálculos se justifican al final del presente apartado.

Se detallan a continuación las conexiones en el lado de corriente alterna:

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

- **Inversores solares:** Son 4 unidades de 100 kW de potencia nominal de salida, con las siguientes características de salida:
 - Potencia nominal: 100 kW
 - Tensión de salida: 400 V
 - Corriente máxima de salida: 145 A
 - Factor de potencia: 1
- **Cuadro de protección en c.a.:** Las cuatro salidas de cable desde cada uno de los inversores pasarán hasta el cuadro de baja tensión del centro de transformación de 1.000 kVA proyectado, características:
 - Nº de salidas: 4
 - Tensión asignada: 440 V
 - Tipo de protección: Interruptor general automático con protección térmica y diferencial

Desde el presente cuadro se dispondrá de conductores RZ1-K(AS) aislados 0,6/1 kV hasta las bornas del transformador elevador de tensión.
- **Canalización en B.T.,** canalización en el interior del centro de transformación proyectado utilizando bandejas existentes en el interior del mismo.

2.2.1. CUADRO DE PROTECCIÓN EN C.A.

Las protecciones de alterna estarán a partir del inversor y se situarán junto al transformador y el resto de los elementos de la instalación. Estas protecciones se centran en el tramo de baja tensión, las protecciones de Alta Tensión se describen en su Anejo correspondiente.

1º) Para cada línea saliente de los cuatro inversores proyectados se dispondrá de las siguientes protecciones:

- **Interruptor diferencial:** El ID desconectará el circuito en cuanto exista una derivación o defecto a tierra mayor que su sensibilidad. Si no existe la conexión a tierra y se produce un

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

contacto de un cable o elemento activo a la carcasa de una máquina, por ejemplo, el ID no se percatará hasta que una persona no aislada de tierra toque esta masa; entonces la corriente recorrerá su cuerpo hacia tierra provocando un defecto a tierra y superando ésta la sensibilidad del ID, que disparará el corte de la corriente, protegiendo a la persona y evitando así su electrocución.

- **Interruptor magnetotérmico:** El IM desconectará automáticamente el circuito por sobrecarga de la línea o por un cortocircuito, su elección estará en concordancia con la sección de la línea a la que va a proteger. Además de esta desconexión automática, el aparato está provisto de una palanca que permite la desconexión manual de la corriente y el rearme del dispositivo automático cuando se ha producido una desconexión. No obstante, este rearme no se posible si persisten las condiciones de sobrecarga o cortocircuito.

Como se plasma en el siguiente apartado de cálculos, se eligen las siguientes protecciones para cada salida de los inversores:

Prot. Térmica:

I. Aut./Tet. In.: 160 A. Térmico reg. Int.Reg.: 160 A.

Protección diferencial:

Relé y Transfor. Diferencial Sens.: 30 mA.

Para estas intensidades se utilizarán protecciones del tipo caja moldeada donde se unifican las dos protecciones, térmica y diferencial.

2º) En el mismo cuadro se unirán las cuatro líneas salientes de las protecciones anteriormente descritas y se unirán en un interruptor general de corte en carga y un limitador de sobre tensiones:

- **Interruptor-seccionador:** Es un interruptor de corte en carga con función seccionador, es un aparato de mando manual capaz de abrir y cerrar un circuito en carga, no necesita ningún tipo de alimentación para permanecer abierto o cerrado.

Seccionador:

In.: 630 A

- **Limitador de sobretensiones.** Los protectores de sobretensión descargan a tierra los picos de tensión transitorios que se transmiten a través de los cables de la instalación eléctrica.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Se utilizará un limitador del Tipo 2 con automático de desconexión integrado, este tipo de dispositivos se destinan a la protección de las redes de alimentación fotovoltaica contra las sobretensiones transitorias generadas por efectos atmosféricos indirectos.

La protección escogida es un descargador con una tensión de régimen permanente superior al valor de tensión máxima de la instalación en c.a. Debe disponer como mínimo de las siguientes características:

- Corriente de impulso tipo rayo (10/350) (L-L): 5 kA
- Tensión pico: 1,2 kV
- Corriente máxima de descarga (8/20) (L-L): 40 kA
- Tiempo de respuesta (L-L): 8/20 μ s
- Rango temperatura: -40°C /85°C
- Normas Producto: IEC/EN 61643-11

2.2.2. CÁLCULOS ELÉCTRICOS EN C.A.

Fórmulas

Emplearemos las siguientes:

Sistema Trifásico

$$I = Pc / 1,732 \times U \times \text{Cos}\varphi \quad R = \text{amp (A)}$$

$$e = (L \times Pc / k \times U \times n \times S \times R) + (L \times Pc \times Xu \times \text{Sen}\varphi / 1000 \times U \times n \times R \times \text{Cos}\varphi) = \text{voltios (V)}$$

Sistema Monofásico:

$$I = Pc / U \times \text{Cos}\varphi \quad R = \text{amp (A)}$$

$$e = (2 \times L \times Pc / k \times U \times n \times S \times R) + (2 \times L \times Pc \times Xu \times \text{Sen}\varphi / 1000 \times U \times n \times R \times \text{Cos}\varphi) = \text{voltios (V)}$$

En donde:

Pc = 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 ó Monofásica).

S = Sección del conductor en mm².

Cos φ = Coseno de φ . Factor de potencia.

R = Rendimiento. (Para líneas motor).

n = Nº de conductores por fase.

Xu = Reactancia por unidad de longitud en m Ω /m.

Fórmula Conductividad Eléctrica

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

$$K = 1/\rho$$

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

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

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).

Fórmulas Sobrecargas

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 I_z$$

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.

I₂: intensidad que asegura efectivamente el funcionamiento del dispositivo de protección. En la práctica I₂ 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

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

$$\operatorname{tg}\theta = Q/P.$$

$$Q_c = P_x(\operatorname{tg}\theta_1-\operatorname{tg}\theta_2).$$

$$C = Q_c \times 1000 / U^2 \times \omega; \text{ (Monofásico - Trifásico conexión estrella).}$$

$$C = Q_c \times 1000 / 3 \times U^2 \times \omega; \text{ (Trifásico conexión triángulo).}$$

Siendo:

P = Potencia activa instalación (kW).

Q = Potencia reactiva instalación (kVAr).

Q_c = Potencia reactiva a compensar (kVAr).

θ_1 = Angulo de desfase de la instalación sin compensar.

θ_2 = Angulo de desfase que se quiere conseguir.

U = Tensión compuesta (V).

$\omega = 2 \times \pi \times f$; f = 50 Hz.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

C = Capacidad condensadores (F); $cx1000000(\mu F)$.

2.2.2.1. CABLEADO DESDE LOS INVERSORES HASTA EL TRANSFORMADOR.

- Tensión de servicio 400 V
- Caída de tensión máxima 1,5 %
- Nivel de Aislamiento 0,6/1 kV
- Material del conductor Cobre flexible (clase 5)
- Aislamiento del cable XLPE+Pol
- Cubierta del cable RZ1-K(AS)
- Intensidad Max. Inversor I= 145 A
- Método de instalación Bandeja no perforada (Interior CT)

Cálculo de la LÍNEA DESDE EL CUADRO DE PROTECCIÓN EN C.A. HASTA EL TRAFEO

- Tensión de servicio: 400 V.
- Canalización: F-Unip.o Mult.Soportes
- Longitud: 4 m; Cos φ : 1; $X_u(m\Omega/m)$: 0;
- Potencia a instalar: 400000 W.
- Potencia de cálculo:
400000 W.(Coef. de Simult.: 1)

$$I=400000/1,732 \times 400 \times 1 = 577.37 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares $2(4 \times 150) \text{ mm}^2 \text{ Cu}$

Nivel Aislamiento, Aislamiento: 0.6/1 kV, XLPE+Pol - No propagador incendio y emisión humos y opacidad reducida -. Desig. UNE: RZ1-K(AS)

I.ad. a 40°C (Fc=1) 726 A. según ITC-BT-19

Caída de tensión:

Temperatura cable (°C): 71.62

$$e(\text{parcial}) = 4 \times 400000 / 46.21 \times 400 \times 2 \times 150 = 0.29 \text{ V.} = 0.07 \%$$

$$e(\text{total}) = 0.07\% \text{ ADMIS (1.5\% MAX.)}$$

Prot. Térmica:

I. de Corte en Carga Int. 630 A.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

Cálculo de la Línea: DESDE EL INVERSOR 1 HASTA EL CUADRO DE PROTECCIÓN EN C.A.

- Tensión de servicio: 400 V.
- Canalización: C-Unip.o Mult.Bandeja no Perfor
- Longitud: 15 m; Cos φ : 1; $X_u(m\Omega/m)$: 0;
- Potencia a instalar: 100000 W.
- Potencia de cálculo: 100000 W.

$$I=100000/1,732 \times 400 \times 1=144.34 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares 4x70mm²Cu

Nivel Aislamiento, Aislamiento: 0.6/1 kV, XLPE+Pol - No propagador incendio y emisión humos y opacidad reducida -. Desig. UNE: RZ1-K(AS)

I.ad. a 40°C (Fc=1) 199 A. según ITC-BT-19

Dimensiones bandeja: 75x60 mm. Sección útil: 2770 mm².

Caída de tensión:

Temperatura cable (°C): 66.31

$$e(\text{parcial})=15 \times 100000/47.02 \times 400 \times 70=1.14 \text{ V.}=0.28 \%$$

$$e(\text{total})=0.36\% \text{ ADMIS (1.5\% MAX.)}$$

Prot. Térmica:

I. Aut./Tet. In.: 160 A. Térmico reg. Int.Reg.: 160 A.

Protección diferencial:

Relé y Transfor. Diferencial Sens.: 30 mA. Clase AC.

Cálculo de la Línea: DESDE EL INVERSOR 2 HASTA EL CUADRO DE PROTECCIÓN EN C.A.

- Tensión de servicio: 400 V.
- Canalización: C-Unip.o Mult.Bandeja no Perfor
- Longitud: 15 m; Cos φ : 1; $X_u(m\Omega/m)$: 0;
- Potencia a instalar: 100000 W.
- Potencia de cálculo: 100000 W.

$$I=100000/1,732 \times 400 \times 1=144.34 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares 4x70mm²Cu

Nivel Aislamiento, Aislamiento: 0.6/1 kV, XLPE+Pol - No propagador incendio y emisión humos y opacidad reducida -. Desig. UNE: RZ1-K(AS)

I.ad. a 40°C (Fc=1) 199 A. según ITC-BT-19

Dimensiones bandeja: 75x60 mm. Sección útil: 2770 mm².

Caída de tensión:

Temperatura cable (°C): 66.31

$$e(\text{parcial})=15 \times 100000/47.02 \times 400 \times 70=1.14 \text{ V.}=0.28 \%$$

$$e(\text{total})=0.36\% \text{ ADMIS (1.5\% MAX.)}$$

Prot. Térmica:

I. Aut./Tet. In.: 160 A. Térmico reg. Int.Reg.: 160 A.

Protección diferencial:

Relé y Transfor. Diferencial Sens.: 30 mA. Clase AC.

Cálculo de la Línea: DESDE EL INVERSOR 3 HASTA EL CUADRO DE PROTECCIÓN EN C.A.

- Tensión de servicio: 400 V.
- Canalización: C-Unip.o Mult.Bandeja no Perfor
- Longitud: 15 m; Cos φ : 1; $X_u(m\Omega/m)$: 0;

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

- Potencia a instalar: 100000 W.
- Potencia de cálculo: 100000 W.

$$I=100000/1,732 \times 400 \times 1=144.34 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares 4x70mm²Cu

Nivel Aislamiento, Aislamiento: 0.6/1 kV, XLPE+Pol - No propagador incendio y emisión humos y opacidad reducida -. Desig. UNE: RZ1-K(AS)

I.ad. a 40°C (Fc=1) 199 A. según ITC-BT-19

Dimensiones bandeja: 75x60 mm. Sección útil: 2770 mm².

Caída de tensión:

Temperatura cable (°C): 66.31

$$e(\text{parcial})=15 \times 100000/47.02 \times 400 \times 70=1.14 \text{ V.}=0.28 \%$$

$$e(\text{total})=0.36\% \text{ ADMIS (1.5\% MAX.)}$$

Prot. Térmica:

I. Aut./Tet. In.: 160 A. Térmico reg. Int.Reg.: 160 A.

Protección diferencial:

Relé y Transfor. Diferencial Sens.: 30 mA. Clase AC.

Cálculo de la Línea: DESDE EL INVERSOR 4 HASTA EL CUADRO DE PROTECCIÓN EN C.A.

- Tensión de servicio: 400 V.
- Canalización: C-Unip.o Mult.Bandeja no Perfor
- Longitud: 15 m; Cos φ: 1; Xu(mΩ/m): 0;
- Potencia a instalar: 100000 W.
- Potencia de cálculo: 100000 W.

$$I=100000/1,732 \times 400 \times 1=144.34 \text{ A.}$$

Se eligen conductores Unipolares 4x70mm²Cu

Nivel Aislamiento, Aislamiento: 0.6/1 kV, XLPE+Pol - No propagador incendio y emisión humos y opacidad reducida -. Desig. UNE: RZ1-K(AS)

I.ad. a 40°C (Fc=1) 199 A. según ITC-BT-19

Dimensiones bandeja: 75x60 mm. Sección útil: 2770 mm².

Caída de tensión:

Temperatura cable (°C): 66.31

$$e(\text{parcial})=15 \times 100000/47.02 \times 400 \times 70=1.14 \text{ V.}=0.28 \%$$

$$e(\text{total})=0.36\% \text{ ADMIS (1.5\% MAX.)}$$

Prot. Térmica:

I. Aut./Tet. In.: 160 A. Térmico reg. Int.Reg.: 160 A.

Protección diferencial:

Relé y Transfor. Diferencial Sens.: 30 mA. Clase AC.

Los resultados obtenidos se reflejan en las siguientes tablas:

Cuadro General de Mando y Protección

Denominación	P.Cálculo (W)	Dist.Cálc (m)	Sección (mm ²)	I.Cálculo (A)	I.Admi. (A)	C.T.Parc. (%)	C.T.Total (%)	Dimensiones(mm) Tubo,Canal,Band.
CUADRO C.A.-TRAFO.	400000	4	2(4x150)Cu	577.37	726	0.07	0.07	
INV. 1 – CUADRO C.A.	100000	15	4x70Cu	144.34	199	0.28	0.36	75x60
INV. 2 – CUADRO C.A.	100000	15	4x70Cu	144.34	199	0.28	0.36	75x60

TÍTULO: PROYECTO DE PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA BOMBEO HACIA Balsa BALLABONA (ALMERÍA)

PROMOTOR: SOCIEDAD MERCANTIL ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRARIAS (SEIASA)

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

INV. 3 – CUADRO C.A.	100000	15	4x70Cu	144.34	199	0.28	0.36	75x60
INV. 4 – CUADRO C.A.	100000	15	4x70Cu	144.34	199	0.28	0.36	75x60

Cortocircuito

Denominación	Longitud (m)	Sección (mm ²)	I _{pccI} (kA)	P de C (kA)	I _{pccF} (A)	t _{mcc} (sg)	t _{fcc} (sg)	L _{máx} (m)	Curvas válidas
CUADRO C.A.-TRAFO.	4	2(4x150)Cu			5875.73	53.31			630
INV. 1 – CUADRO C.A.	15	4x70Cu	11.8	15	4612.07	4.71			160;B,C,D
INV. 2 – CUADRO C.A.	15	4x70Cu	11.8	15	4612.07	4.71			160;B,C,D
INV. 3 – CUADRO C.A.	15	4x70Cu	11.8	15	4612.07	4.71			160;B,C,D
INV. 4 – CUADRO C.A.	15	4x70Cu	11.8	15	4612.07	4.71			160;B,C,D

2.2.3. PUESTA A TIERRA EN C.A.

En corriente alterna, se conectará todas las partes metálicas de la instalación en el interior del Centro de Transformación proyectado a la Tierra de Protección del mismo.

Asimismo, se conectará al limitador de sobretensiones que se ha proyectado en el cuadro de protección en c.a.

Los conductores serán de cobre aislado y no estarán seccionados ni protegidos en ninguno de sus puntos. Se unirán todas las masas de la instalación a proteger, entre sí y a los elementos conductores simultáneamente accesibles, para evitar que puedan aparecer, en un momento dado, diferencias de potencial peligrosas, entre ambos.

La citada Tierra de Protección/Servicio se describe en el Anejo de Alta Tensión del presente proyecto técnico.

ANEJO Nº9.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

3. CONCLUSIONES.

Una vez descrito y justificado lo constituyente del presente documento, en relación a todos los elementos que en el intervienen y de conformidad con las disposiciones que lo regulan, el ingeniero redactor abajo firmante lo da por finalizado, elevándolo a la consideración de los organismos competentes para su revisión, y si procede, aprobación, quedando a la disposición de los mismos para cuantas aclaraciones y correcciones se consideren necesarias.

Y para que conste a los efectos oportunos firma el presente documento a octubre de 2022.



El Ingeniero Agrónomo

Francisco López López

Nº colegiado 3000772 COIARM