

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERIA
TECNOLÓGICA INDUSTRIAL**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***DISEÑO INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA DE 10 MWP
EN CUERVA (TOLEDO)***

Alumno/Alumna	<i>Sopeña Diez, Alejandro</i>
Director/Directora	<i>Mazón Sainz-Maza, Javier</i>
Departamento	Dpto de Ingeniería Eléctrica
Curso académico	<i>2018/2019</i>

Bilbao, 02, Septiembre, 2019

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA DESCRIPTIVA.....	7
1. RESUMEN.....	8
2. OBJETIVO Y ALCANCE.....	9
3. BENEFICIOS DEL PROYECTO.....	9
4. ESTADO DEL ARTE.....	10
4.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO.....	10
4.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA.....	11
5. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR.....	13
5.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	13
5.2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA IRRADIANCIA.....	15
5.3 RADIACIÓN SOLAR.....	16
6. ANÁLISIS DE RIESGOS.....	21
7. DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR.....	22
7.1 EMPLAZAMIENTO.....	22
7.2 EVACUACIÓN DE LA ENERGÍA.....	23
7.3 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	24
METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO.....	47
1. DIAGRAMA DE GANTT.....	48
2. PRODUCCIÓN ENERGÉTICA.....	48
2.1 PERFORMANCE RATIO (PR).....	48
3. DIMENSIONADO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	54
3.1 TEMPERATURAS MÁXIMA Y MÍNIMA DE LOS MÓDULOS.....	55
3.2 TENSIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA DE LOS PANELES.....	56
3.3 NÚMERO DE PANELES EN SERIE.....	56
3.4 NÚMERO DE STRINGS EN PARALELO.....	57
3.5 CONFIGURACIÓN ELEGIDA.....	58
3.6 SOMBRAS Y DISTANCIAS (PITCH).....	58
4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS.....	59
4.1 CÁLCULOS INSTALACIÓN BAJA TENSIÓN.....	59
4.2 CÁLCULOS INSTALACIÓN DE MEDIA TENSIÓN.....	67

4.3 CÁLCULO DE LAS PUESTAS A TIERRA DEL CENTRO DE INVERSIÓN Y TRANSFORMACIÓN	73
4.4 CÁLCULO DE LAS PUESTAS A TIERRA DEL CENTRO DE PROTECCIÓN Y MEDIDA.....	78
ASPECTOS ECONÓMICOS	85
1. INTRODUCCIÓN.....	86
2. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	86
3. PRESUPUESTO Y MEDICIONES	87
4. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	90
4.1 PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN	90
4.2 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA ESTIMADA	90
4.3 INGRESOS	91
4.4 GASTOS	92
4.5 LCOE	93
4.6 RENTABILIDAD DEL PROYECTO	94
CONCLUSIONES	96
BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXO I:	101
REGLAMENTACIÓN APLICABLE.....	195
ANEXO II:	196
ANEXO III:.....	221

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Capacidad global instalada y por países	10
Ilustración 2- Potencia instalada y acumulada por año en España	11
Ilustración 3- Potencia fotovoltaica instalada en España y evolución coste módulos	12
Ilustración 4- Evolución generación eléctrica mediante renovables	13
Ilustración 5- Esquema célula solar	14
Ilustración 6- Circuito equivalente y curva I-V	14
Ilustración 7- Curva I-V en función de la temperatura y la irradiancia	15
Ilustración 8- Curva del espectro de la radiación solar	17
Ilustración 9- Viñeta sobre las distintos tipos de radiación	18
Ilustración 10- Gráfico explicativo del azimut	19
Ilustración 11- Posición del sol durante el año	19
Ilustración 12- Gráfico explicativo del air mass	20
Ilustración 13- Matriz de riesgos	22
Ilustración 14- Situación geográfica del emplazamiento	22
Ilustración 15- Módulo Fotovoltaico	24
Ilustración 16- Caja de conexión	25
Ilustración 17- Inversor 1500 VDC	26
Ilustración 18: MV Skid	27
Ilustración 19- Disposición de los módulos en la estructura con seguidor	28
Ilustración 20: Ejemplo de adaptabilidad al terreno.... Ilustración 21: Optimización del mantenimiento	28
Ilustración 22: Tipos de cimentación posibles	28
Ilustración 23: Detalle de zanjas para circuitos de Baja Tensión (izqda.) y de zanjas bajo camino (dcha.)	45
Ilustración 24: Detalle de zanjas para circuitos de Media Tensión (izqda.) y de zanjas bajo camino (dcha.)	45
Ilustración 25- Histórico de temperaturas máximas y mínimas	55
Ilustración 26- Valores calculados en el pitch	58
Ilustración 27- Distintas maneras de conectar de los módulos	61
Ilustración 28- Tabla duración cortocircuito en función del tipo de cable	69
Ilustración 29- Intensidad consumo diario	71
Ilustración 30- Gráfico circular resumen presupuesto	90
Ilustración 31- tolerancias granulométricas	185
Ilustración 32- Valores módulo compresibilidad	187
Ilustración 33- Regularidad superficial	188
Ilustración 34- Vista aérea del emplazamiento	197

Ilustración 35- Distribución parcelas del terreno.....	197
Ilustración 36- Características del módulo CANADIAN CS6X-330P.....	198
Ilustración 37- Características de la caja de conexión.....	199
Ilustración 38- Dimensiones caja de conexión	198
Ilustración 39- Características del inversor	200
Ilustración 40- Características MV SKID.....	201
Ilustración 41- Características seguidor solar	202
Ilustración 42- Características cable Afumex Class RZ1-K.....	203
Ilustración 43- Características cable media tensión.....	204
Ilustración 44- Valores estación meteorológica Toledo	205
Ilustración 45- Datos sobre la radiación mensual con ángulo óptimo.....	206
Ilustración 46- Intensidades máximas admisibles según norma UNE	207
Ilustración 47- Factor de corrección agrupación de ternas.....	207
Ilustración 48- Factor de corrección de la temperatura	207
Ilustración 49- Factor de corrección de la profundidad	208
Ilustración 50- Emplazamiento acotado.....	209
Ilustración 51- Trazado de caminos	210
Ilustración 52- Trazado zanjas baja tensión.....	211
Ilustración 53- Trazado zanjas media tensión	212
Ilustración 54- Detalle zanjas baja tensión	213
Ilustración 55- Detalle zanjas media tensión	214
Ilustración 56- Detalle vallado	215
Ilustración 57- Detalle de camino	216
Ilustración 58- Trazado cable baja tensión.....	217
Ilustración 59- Trazado del cable de media tensión.....	218
Ilustración 60- Esquema unifilar media tensión.....	219
Ilustración 61- Esquema unifilar baja tensión	220
Tabla 1- Parcelas terreno	23
Tabla 2- Características planta fotovoltaica.....	24
Tabla 3- Características del inversor	26
Tabla 4- Cables baja tensión	29
Tabla 5- Cable media tensión.....	30
Tabla 6- Características generales.....	31
Tabla 7- Características edificio	31
Tabla 8- Características celdas MT	31
Tabla 9- Resumen aparellaje.....	32
Tabla 10- Características aparellaje.....	33
Tabla 11- Características transformador	33
Tabla 12- Conductores de tierra.....	37

Tabla 13-Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase.....	38
Tabla 14- Resistencia de las tierras	40
Tabla 15- Características viales	44
Tabla 16- Temperaturas medias Toledo durante las horas de sol.....	50
Tabla 17- Irradiancia media en Toledo durante las horas de sol	50
Tabla 18- Temperatura media y rendimientos de los módulos.....	51
Tabla 19- Pérdida de eficiencia por temperatura	51
Tabla 20- Pérdidas de eficiencia globales.....	54
Tabla 21- Secciones cables desde paneles hasta caja de conexión	64
Tabla 22- Cables inversor 1.....	65
Tabla 23- Cables inversor 2.....	66
Tabla 24- Cables inversor 3.....	66
Tabla 25- Cables inversor 4.....	67
Tabla 26- Resumen caídas de tensión.....	68
Tabla 27- Resumen presupuesto	86
Tabla 28- Presupuesto detallado.....	89
Tabla 29- Ingresos venta electricidad.....	92
Tabla 30- Resumen gastos anuales	93
Tabla 31- Payback del proyecto.....	95

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. RESUMEN

El objeto de este proyecto es realizar un estudio completo del diseño, instalación y viabilidad económica de una central solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica. Se comienza seleccionando los equipos adecuados y se realizan los cálculos necesarios para comprobar que son los correctos. También se efectúa una previsión de la producción eléctrica teniendo en cuenta las posibles pérdidas, lo cual a su vez permite analizar el estudio económico de la planta solar.

LABURPENA

Proiektu honen xedea honako hau dugu: argi indarrari loturik elektrizitate sarera konektaturik den eta fotovoltaiko izaera duen eguzki central baten diseinu, eraikuntza eta bideragarritasun ekonomikoaren azterketa osoa egitea. Horretarako, lehendabizi, ekipamendu egokiak diren ala ez erabakitzeko egin beharreko kalkuluak egitearekin batera. Joni loturik, izango den ekoizpen elektrikoaren aurreikuspena ere egin beharra izango dugu, beti ere, jarduera honetan izan litezkeen galerak kontuan harturik; horrek guztiak proiektu honek aztergai izango duen zentralaren bideragarritasun edo azterketa ekonomikoa egiteko aukera emango digularik.

ABSTRACT

The aims of this project is to make a study of the design, installation and economical investment of a solar plant connected to the grid. The first step consists on choosing the appropriate equipments and make the necessary calculations to prove it. It is also been made an electrical yield simulation taking into account the possible losses, and with this information the economical study of the solar plant can also be made.

2. OBJETIVO Y ALCANCE

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño integral de una planta solar fotovoltaica de gran escala conectada a red con una potencia nominal de 10 MW. Durante el proyecto se describen las condiciones técnicas necesarias para el correcto funcionamiento de los diferentes equipos, así como el diseño constructivo del parque solar fotovoltaico.

Inicialmente se realiza una breve introducción de los fundamentos básicos para la obtención de energía a través de la radiación solar. A continuación, se lleva a cabo la descripción de los diferentes equipos que forman parte de la instalación y sus características. Posteriormente, se realiza el diseño de la planta solar y los cálculos necesarios para comprobar el correcto dimensionamiento de los equipos seleccionados. Finalmente, se estudia la viabilidad económica del proyecto.

3. BENEFICIOS DEL PROYECTO

Este proyecto no solo traerá consigo beneficios económicos para las empresas encargadas del diseño, construcción y gestión de la central, sino también acarreará beneficios sociales y medioambientales, dos aspectos muy valorados en la sociedad actual.

- Beneficios económicos:

Las empresas encargadas del diseño y construcción de la planta se verán beneficiadas económicamente por la realización del proyecto.

Por otro lado, la empresa encargada de la gestión obtendrá beneficios de la venta de energía eléctrica a la empresa distribuidora a partir de unos años, cuando la inversión se haya recuperado, calculada posteriormente en el proyecto.

- Beneficios medioambientales:

Al tratarse de una planta solar fotovoltaica, la energía eléctrica obtenida es limpia y renovable ya que no produce gases de efecto invernadero. Según consta en la Directiva 2009/28/CE, las instalaciones de generación que utilicen fuentes de energía renovables tienen prioridad de despacho, es decir, deben ser las primeras en entrar a la red. Por lo tanto, cuanto más energía se produzca mediante las instalaciones renovables, se reducirá el uso de las centrales que utilizan combustibles fósiles y consiguientemente su impacto medioambiental.

El objetivo es que las energías “limpias” cubran la mayor parte de la demanda energética reduciéndose así la cantidad de gases de efecto invernadero vertidos a la atmosfera. Además, permite al país acercarse a los objetivos impuestos a nivel mundial sobre la contaminación.

- Beneficios sociales:

Al tratarse de un territorio que no dispone de grandes reservas de combustibles, este proyecto permite avanzar en la consecución de un país energéticamente independiente ya que hace uso de un recurso propio.

Cuanto más independiente sea un país en materia energética menos propenso será a sufrir las consecuencias de unas posibles fluctuaciones en el precio de la energía, ya sea por conflicto entre países o por otros motivos tanto externos como internos.

La consecución de este proyecto supone un beneficio para la sociedad no sólo desde el punto de vista energético (calidad y cantidad de la energía obtenida), sino también porque su ejecución implica la demanda de mano de obra, es decir, la creación de empleo con lo que esto presupone de positivo en el ámbito socioeconómico.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL MUNDO

La utilización de la energía solar para producir electricidad ha visto crecer exponencialmente su capacidad instalada en los últimos años. Hace 20 años la energía solar fotovoltaica no era una opción viable debido a los altos costes de los equipos y dependía de las subvenciones, por lo tanto la capacidad global instalada en el año 2000 era de apenas 2 gigavatios. Sin embargo, tal y como se puede apreciar en la ilustración 1, en el año 2017 la capacidad global instalada fue de 402 gigavatios, lo que supone un enorme crecimiento. Este crecimiento es debido a diversos factores, el principal es la reducción del precio de los paneles y demás equipos de la instalación, y también es debido al esfuerzo de los países por frenar el cambio climático. Los países que más han incrementado su capacidad los últimos años han sido China y Japón.

FIGURE 24. Solar PV Global Capacity and Annual Additions, 2007-2017

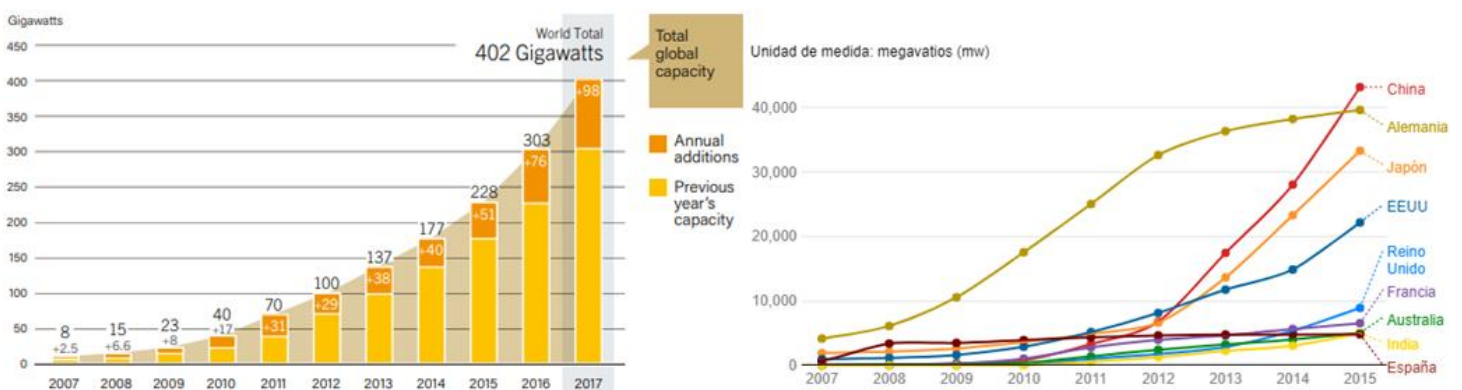


Ilustración 1- Capacidad global instalada y por países

4.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ESPAÑA

Las características de España hacen del país un lugar idóneo para la instalación de plantas fotovoltaicas debido a la climatología y al ser uno de los países de Europa con mayor cantidad de horas de sol al año. Estos factores indujeron a que España fuera uno de los primeros países a nivel mundial en el desarrollo y puesta en marcha de este tipo de tecnología. Gracias al marco de regulación 661/2007 el cual incluía primas y condiciones atractivas para las instalaciones solares, a partir del año 2006 se produjo una fuerte inversión en plantas solares, permitiendo aumentar la capacidad instalada como se puede apreciar en la siguiente imagen:

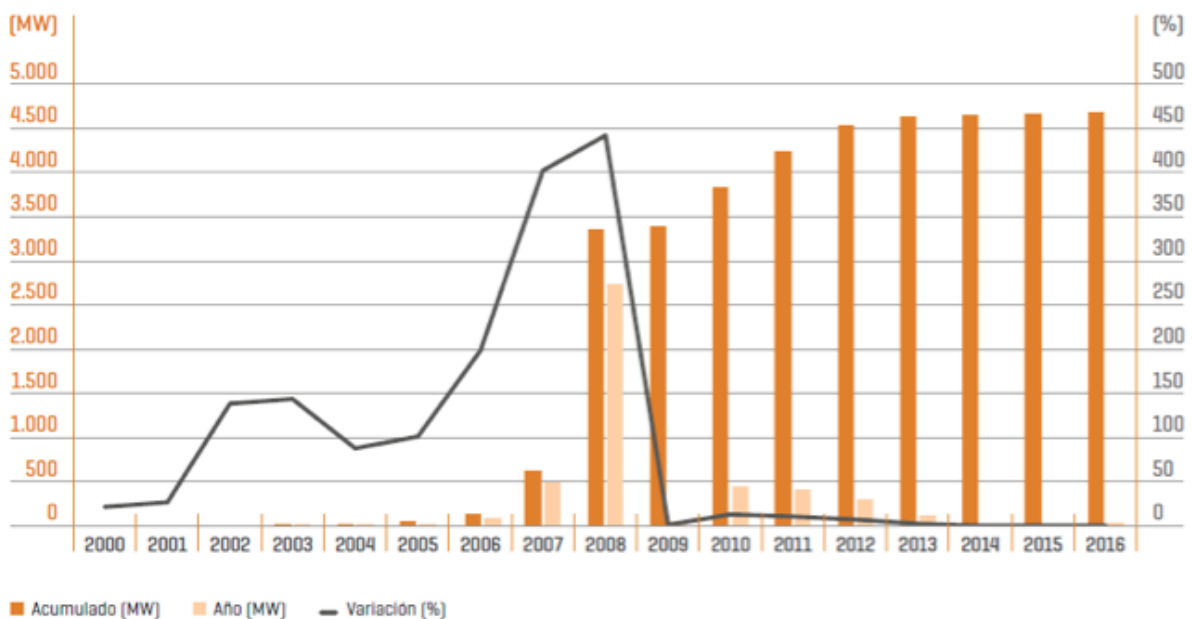
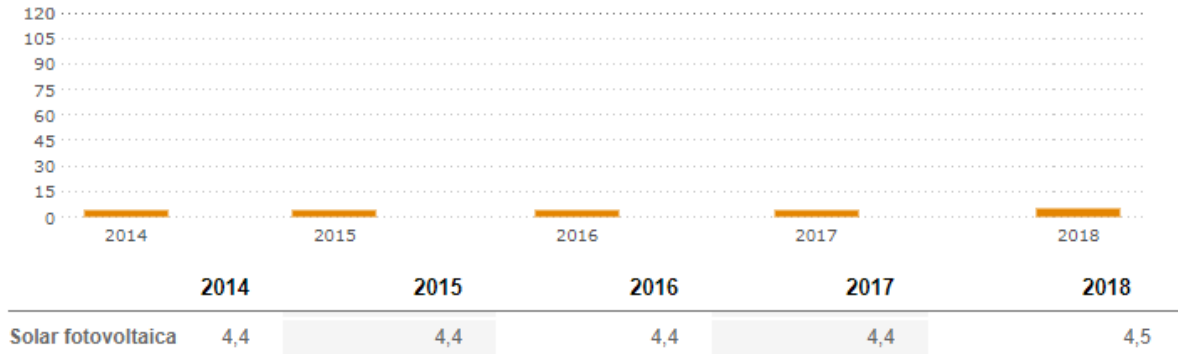


Ilustración 2- Potencia instalada y acumulada por año en España

Esto ocasionó la instalación descontrolada de parques solares (se estimó que se iban a instalar 400 megavatios y se instalaron más de 3.500) y el gobierno vio descuadradas sus previsiones económicas. Para frenar las inversiones, el gobierno introdujo el decreto 1578/08 mediante el cual se reducían las primas a las instalaciones, generando pérdidas en una gran parte de esas instalaciones. Con esta medida y con las medidas aprobadas más tarde por el siguiente gobierno, la construcción de nuevas plantas se vio paralizada y por lo tanto los últimos años la capacidad instalada no ha aumentado. Actualmente el panorama es más optimista, se ha derogado el llamado ‘impuesto al sol’ (Real Decreto 900/2015) y los precios de los paneles han disminuido notablemente, con lo que las inversiones han vuelto a aparecer.

Evolución de la potencia instalada peninsular (GW)



Evolución del coste de los módulos solares de silicio (euro/vatio)

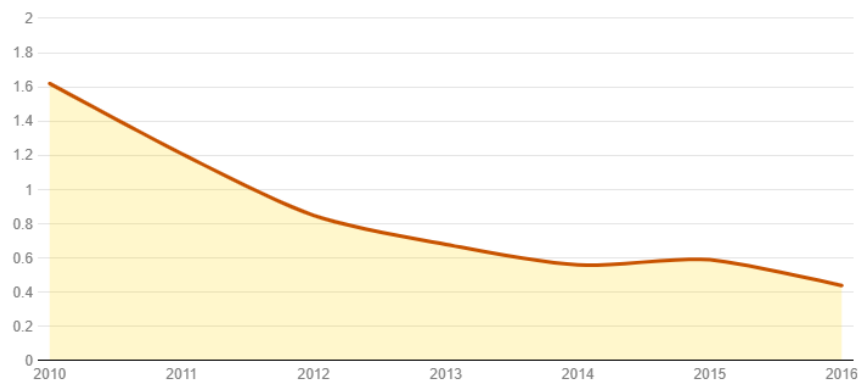


Ilustración 3- Potencia fotovoltaica instalada en España y evolución coste módulos

En el año 2018 se produjo mediante energía solar fotovoltaica un 2.9% frente al 19% producido mediante eólica o al 13.2% mediante hidráulica, siendo el total de energía producida mediante renovables del 38.5%. La evolución de la generación eléctrica mediante renovables se encuentra estancada como se puede apreciar en la ilustración 2, ya que la mejora respecto al 2017 es debida a la sequía producida ese año. Pero todos los expertos coinciden en que con la disminución del coste de los paneles el futuro de la energía solar es esperanzador, siendo una de las energías con menor coste de producción por megavatio/hora (32-39 euros) incluso por debajo del ciclo combinado de gas natural.

Evolución de la generación eléctrica peninsular renovable [GWh]

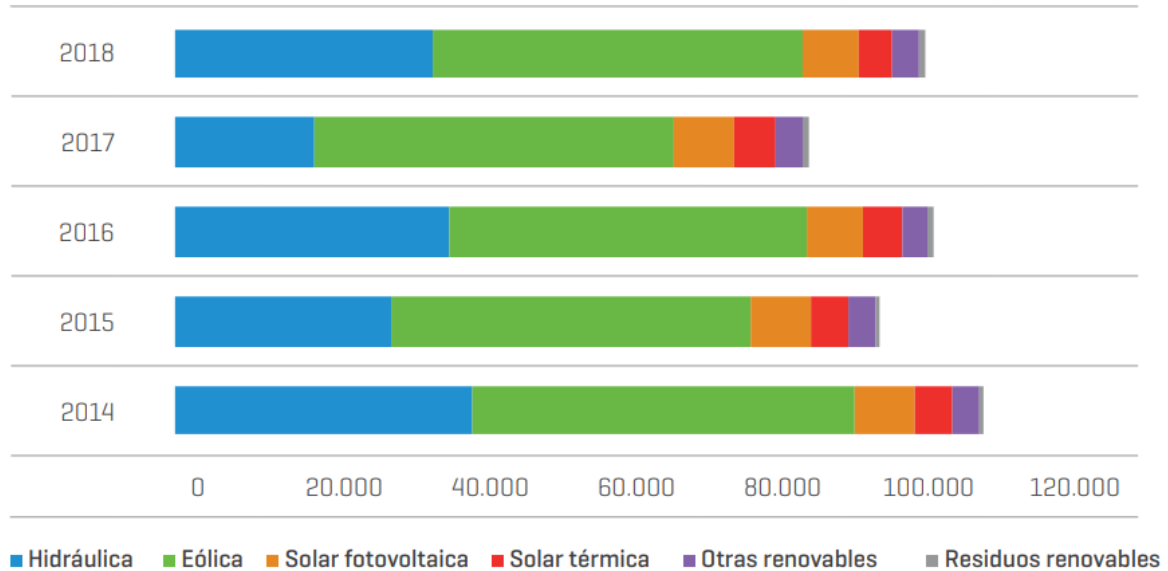


Ilustración 4- Evolución generación eléctrica mediante renovables

Por lo tanto el futuro de las energías renovables en España, y más específicamente de la solar fotovoltaica, tiene un recorrido esperanzador debido a la evolución de los precios, al nuevo auge del mercado y al amplio recurso solar disponible para ampliar la capacidad.

5. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR

Las centrales solares fotovoltaicas aprovechan la energía contenida en la radiación solar y la convierten mediante las células solares en energía eléctrica de forma renovable al no emitir gases de efecto invernadero. En este capítulo se van a describir los conceptos básicos para la comprensión de esta tecnología y el estado del arte de la misma en la actualidad.

5.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La conversión de la energía solar en energía eléctrica tiene lugar debido a un fenómeno físico que se conoce como el efecto fotoeléctrico. El efecto fotoeléctrico se manifiesta cuando las partículas de luz llamadas fotones inciden sobre un material semiconductor, transmitiendo su energía a los electrones y provocándoles una excitación. Si el fotón tiene suficiente potencia, permite a los electrones romper el enlace con el átomo, generando así un hueco y permitiendo tanto al electrón como al hueco moverse dentro del material provocando una corriente eléctrica.

Los materiales semiconductores son sometidos a un proceso de dopaje mediante el cual se les introducen átomos de otros elementos con el fin de aumentar su conductividad. Existen dos

tipos de semiconductores, los de tipo P y los de tipo N. Los semiconductores de tipo P son normalmente impurificados con Boro, ya que solo tiene 3 electrones de valencia, provocando que surjan ‘huecos’ debido a la falta de un electrón. Y los semiconductores del tipo N suelen ser impurificados con Fósforo, con 5 electrones de valencia, por lo tanto poseen un electrón en exceso que tratará de rellenar los huecos del semiconductor tipo P.

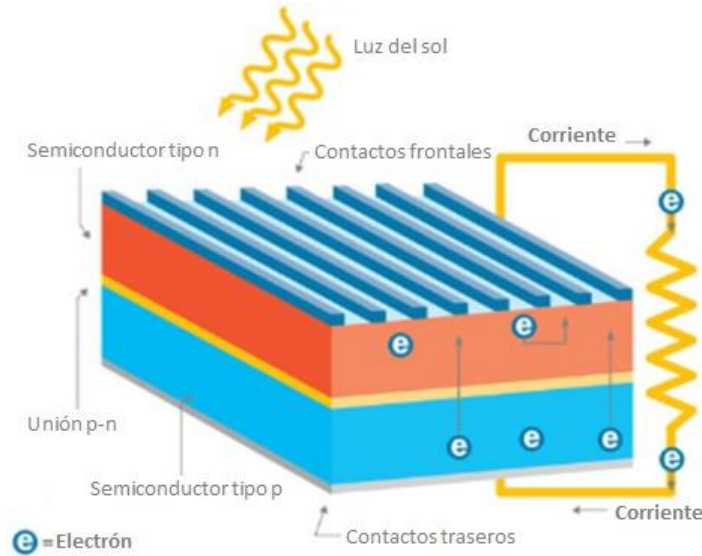


Ilustración 5- Esquema célula solar

Una célula solar por lo tanto es una fuente de energía a la que se ha añadido un diodo. El circuito equivalente de una célula solar es el de la ilustración 2. Cuando la célula está expuesta a la radiación solar se produce una corriente eléctrica que se refleja en la curva I-V, característica de un diodo, de la cual se obtienen parámetros importantes.

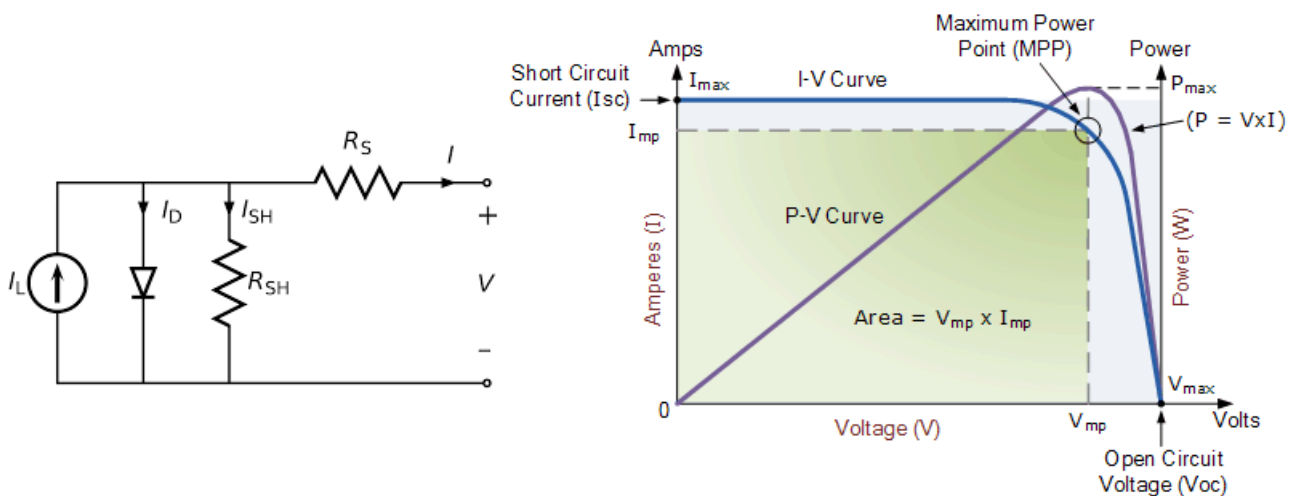


Ilustración 6- Circuito equivalente y curva I-V

Los parámetros destacados de la curva I-V son el voltaje en circuito abierto (V_{oc}), la intensidad de cortocircuito (I_{sc}) y el punto de máxima potencia (MPP), el cual es el punto ideal de operación de la célula. Con estos términos es posible calcular el factor de forma de la célula solar según la ecuación: $FF = \frac{V_{MP} * I_{MP}}{V_{OC} * I_{SC}}$. *Ecuación 1*

Para calcular la eficiencia de una célula solar, como esta depende de diversos factores como la temperatura y el nivel de irradiancia, se tomó la decisión de medir la eficiencia de las células para aplicaciones terrestres según unas condiciones estándar (STC) de 25°C, espectro AM=1.5 y una irradiancia de 1000 W/m². La eficiencia se calcula como la cantidad de energía eléctrica obtenida, dividida entre la energía solar incidente: $\eta = FF * \frac{V_{OC} * I_{SC}}{P_{in}}$. *Ecuación 2*

Pero una sola célula no es capaz de producir suficiente energía eléctrica para ser aprovechada, es por eso que las placas solares son un conjunto de células interconectadas en serie para aumentar su voltaje, y las placas solares a su vez están conectadas en serie con otros conjuntos de placas solares llamados ‘strings’. Cada placa solar suele constar de 72 células solares que permiten generar aproximadamente 36V.

5.2 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y LA IRRADIANCIA

Tanto la temperatura como la irradiancia juegan un papel importante en la eficiencia de los módulos puesto que afecta directamente a la tensión e intensidad de los mismos. Este efecto se observa mejor en la ilustración 7, mediante las curvas I-V del módulo en función de la temperatura y la irradiancia respectivamente.

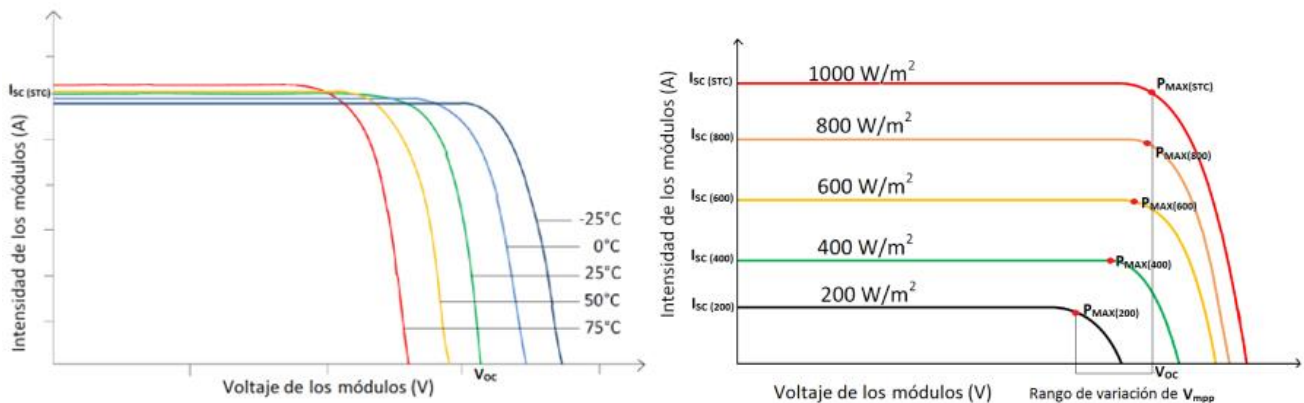


Ilustración 7- Curva I-V en función de la temperatura y la irradiancia

En la gráfica de la curva I-V se aprecia como la tensión de circuito abierto (V_{oc}) aumenta a medida que la temperatura disminuye, mientras que la corriente de cortocircuito (I_{sc}) disminuye. En la hoja de especificaciones de cada módulo fotovoltaico viene definido un coeficiente de temperatura para realizar el cálculo de las tensiones en función de la misma. La

irradiancia afecta de tal forma que, al incrementarse, produce un aumento tanto de la corriente de cortocircuito como de la tensión de circuito abierto.

Como conclusión, cabe destacar que en lo concerniente a la eficiencia, el mejor escenario es aquel con la mayor irradiancia posible y a la vez la menor temperatura. Pero estos dos factores no suelen suceder conjuntamente debido a que una mayor irradiancia trae consigo un aumento de la temperatura, así que el valor óptimo de la eficiencia tendrá lugar en algún punto intermedio.

5.3 RADIACIÓN SOLAR

En este proyecto el sol es la fuente de energía y por ello es indispensable conocer cuál es su comportamiento, para de esta forma poder sacar el máximo rendimiento de él. En los siguientes subapartados se van a explicar las principales características de esta fuente de energía.

5.3.1 Definición

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro, y la radiación se genera a partir de las reacciones termonucleares de fusión que se producen en el núcleo solar y que producen la radiación electromagnética en varias frecuencias o longitudes de onda, que se propaga entonces en el espacio a la velocidad de 299.792 Km/s. Esta propagación permite llevar energía solar con ellas.

La radiación solar se distribuye en un amplio espectro de amplitud no uniforme con la forma típica de una campana, como es típico del espectro de un cuerpo negro con el que se modela la fuente solar. El máximo de radiación se centra en la banda de radiación o luz visible con un pico a 500 nm fuera de la atmósfera terrestre según la ley de Wien, que corresponde al color verde cian.

La banda de radiación fotosintéticamente activa (PAR) oscila entre 400 y 700 nm, corresponde a la radiación visible y equivale al 41% de la radiación total. Dentro del PAR hay subbandas con radiación:

- azul-violeta (400-490 nm)
- verde (490-560 nm)
- amarillo (560-590 nm)
- rojo anaranjado (590-700 nm)

Además de la radiación visible, un componente energéticamente minoritario, pero sin embargo digno de mención por sus efectos es el infrarrojo y, sobre todo, los rayos ultravioletas.

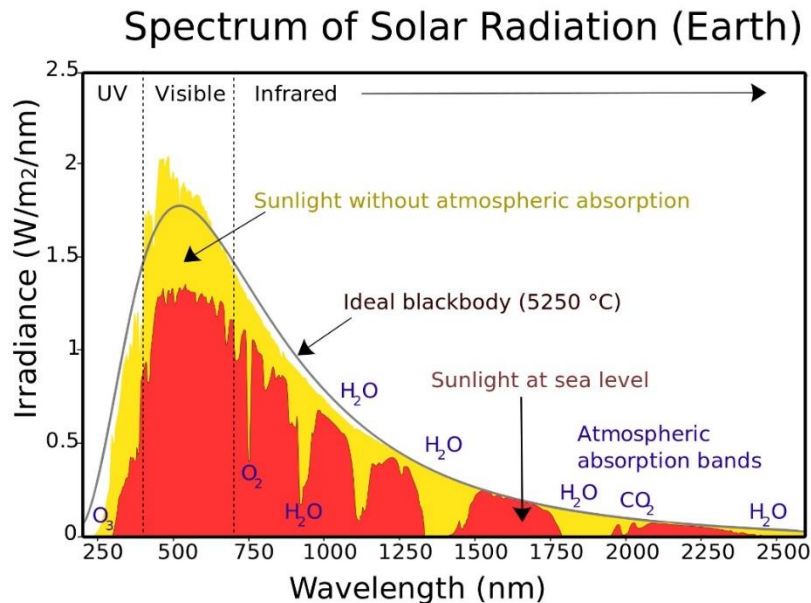


Ilustración 8- Curva del espectro de la radiación solar

5.3.2 Constante solar

La constante solar es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del Sol. La distancia Tierra-Sol es variable debido a la órbita elíptica que realiza la Tierra, por lo que para el cálculo de la constante solar ha de considerarse una distancia promedio. Los resultados de su medición por satélites arrojan un valor promedio de 1366 Wm⁻².

Se puede considerar que el sol es una fuente de energía constante, ya que diversos estudios han demostrado que la variación de la energía procedente del sol a lo largo de un ciclo solar (aproximadamente 22 años) es menor al 1%. Esta energía es la principal fuente energética y, por lo tanto, el motor que mueve nuestro medio ambiente. La energía solar que recibimos mediante la radiación solar es responsable directamente o indirectamente de aspectos tan importantes para la vida como la fotosíntesis, el mantenimiento de una temperatura del planeta compatible con la vida, del viento, etc. La energía solar que llega a la superficie terrestre es 10.000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad.

5.3.3 Tipos de radiación

La radiación solar debe atravesar la atmosfera antes de lograr alcanzar la superficie terrestre, y en la atmosfera experimenta diversos fenómenos de reflexión, absorción y difusión que disminuyen la energía final recibida. Como consecuencia, la radiación global incidente sobre una superficie inclinada en la superficie terrestre se puede calcular como la suma de tres componentes: la radiación directa, la difusa y la reflejada.

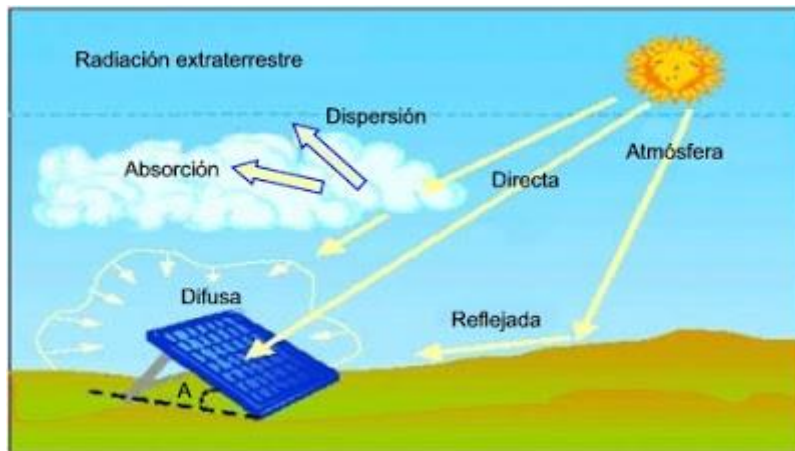


Ilustración 9- Viñeta sobre las distintos tipos de radiación

- **Radiación directa:** es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
- **Radiación difusa:** es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Esta energía puede suponer aproximadamente un 15% de la radiación global en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la radiación directa es muy baja, la radiación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Por otra parte, las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales reciben menos porque solo ven la mitad de la semiesfera celeste.
- **Radiación reflejada:** La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.
- **Radiación global:** Es la suma de las tres radiaciones.

También hay que distinguir, como ya se ha mencionado, si la radiación incide sobre un plano horizontal o sobre un plano inclinado. La radiación sobre el plano horizontal de un lugar se puede consultar en numerosas fuentes, como por ejemplo en la Agencia Estatal de Meteorología. Para calcular la radiación sobre un plano inclinado hace falta conocer la latitud del lugar y después aplicar unos factores de corrección, siendo la radiación sobre el plano inclinado comúnmente superior a la horizontal.

5.3.4 Geometría solar

En una instalación fotovoltaica es muy importante conocer la posición del sol a lo largo del año, y más si cabe en una instalación como la de este proyecto que cuenta con seguidor solar en un eje. La posición del sol se establece en función de dos variables: el azimut y la elevación.

Estos ángulos se calculan utilizando el "tiempo solar". En el tiempo de mantenimiento convencional, las regiones de la Tierra se dividen en determinadas zonas horarias. Sin embargo, en estas zonas horarias, al mediodía no se corresponde necesariamente con el momento en que el sol está más alto en el cielo. El tiempo solar, por otro lado, es único para cada longitud particular. En consecuencia, para el cálculo de la posición del sol, primero se debe hallar la hora solar local y luego se calculan los ángulos de elevación y azimut.

El azimut solar es el ángulo que forma la dirección sur con la proyección horizontal del sol, considerando la orientación sur como $\psi = 0^\circ$, y considerando los ángulos entre el sur y el noreste negativos y entre el sur y el noroeste positivos.

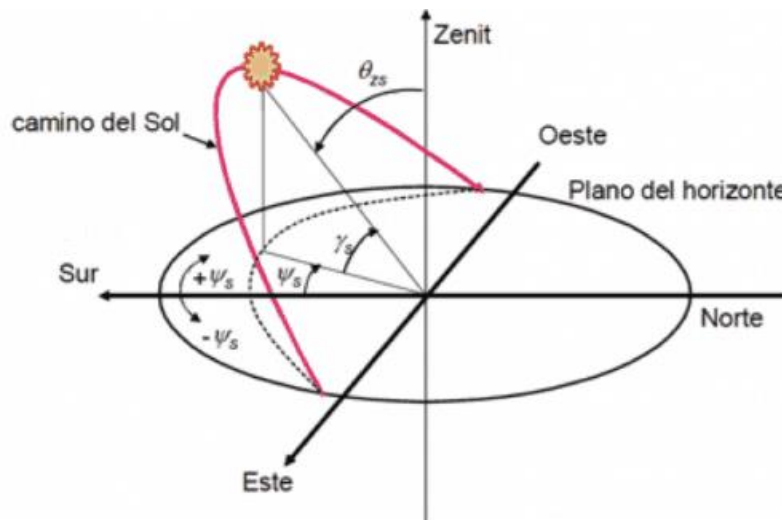


Ilustración 10- Gráfico explicativo del azimut

La elevación solar es el ángulo formado entre la horizontal del suelo y la línea que une el sol con el observador. A lo largo del año este ángulo varía, siendo máximo en el solsticio de verano y mínimo en el solsticio de invierno.

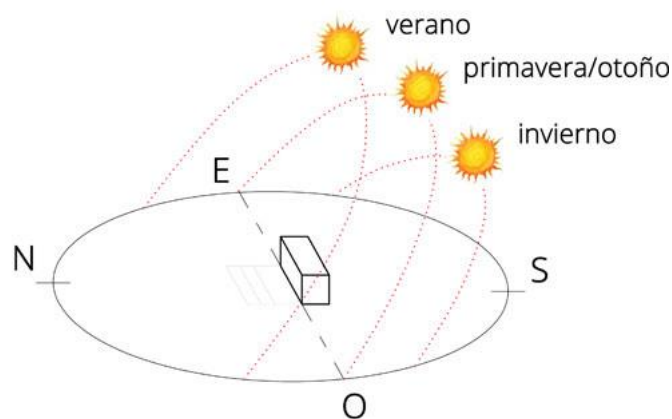


Ilustración 11- Posición del sol durante el año

5.3.5 Recorrido de la radiación solar

Cuanto más perpendicular se encuentra el sol con respecto a la superficie terrestre (es decir, cuanto menor es el valor del ángulo cenital) menor es el camino que tiene que recorrer la radiación solar a través de la atmósfera. Por el contrario para ángulos cenitales mayores (menor altura solar) el camino a recorrer por la radiación solar en la atmósfera es mayor, lo que implica que la intensidad de la radiación solar que llega a la superficie terrestre es menor.

Para ello se define la masa de aire, (AM) como el cociente entre el recorrido óptico de un rayo solar y el correspondiente a la normal a la superficie terrestre (ángulo cenital cero) y que está relacionada con la altura solar (α).

Para una altura solar de $\alpha = 90^\circ$, $AM = 1$, que es el valor mínimo de AM y se corresponde con la situación del sol en el zenit (vertical del observador). Aunque este valor no se da ningún día del año, excepto en latitudes que se encuentran en el ecuador. La radiación solar en el espacio exterior, es decir sin atravesar la atmósfera terrestre, supone $AM = 0$.

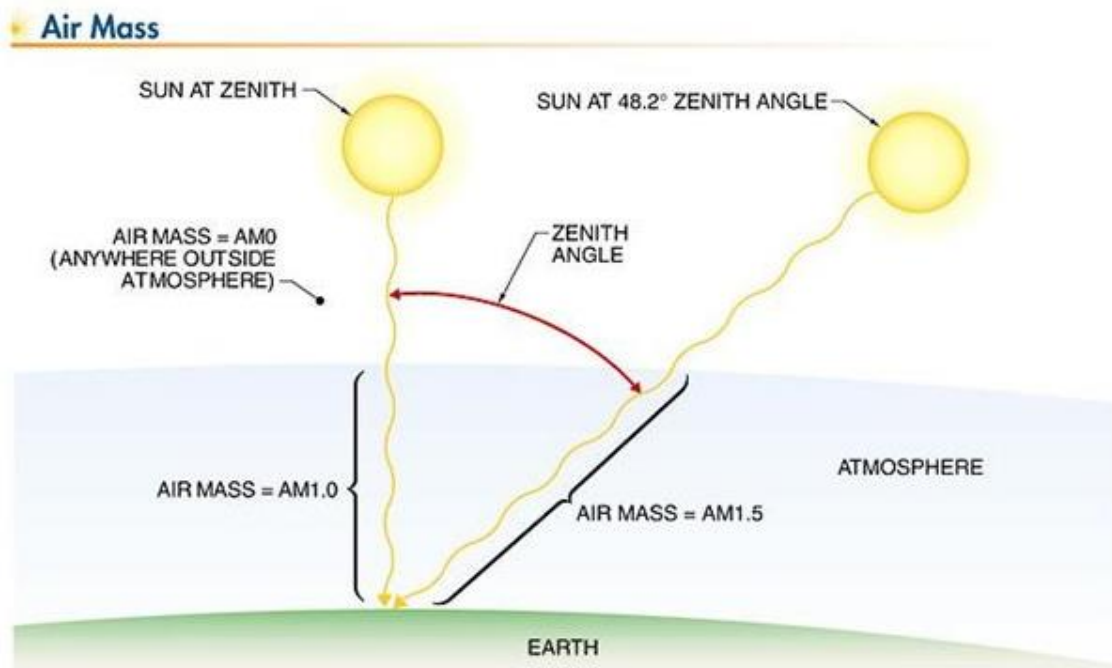


Ilustración 12- Gráfico explicativo del Air Mass

Resumiendo, a diferencia de la orientación e inclinación del panel solar, que las podemos adaptar para conseguir que la irradiancia recibida por el panel sea máxima, el efecto de la absorción atmosférica es algo que no podemos controlar, por lo que la cantidad de energía solar que se recibe realmente en la superficie terrestre es siempre inferior a la que se recibiría justo por encima de la atmósfera.

6. ANÁLISIS DE RIESGOS

Todo proyecto tiene implícitos una serie de riesgos que ponen en peligro la inversión realizada. Para ello se presenta la matriz de impacto del proyecto que ordena los riesgos en función del posible impacto que tengan en el proyecto y la probabilidad de que ocurran. Primero se enumeran los diferentes riesgos aparejados a este tipo de instalaciones para después completar la matriz de impacto:

- A. Variación del precio de la electricidad: el precio de venta de la electricidad sufre variaciones debido a la meteorología y debido a los cambios de leyes sobre el tipo de tarificación de la energía solar o sobre la cuantía de las subvenciones. Todos estos factores afectan al estudio económico realizado, lo cual puede provocar hasta una pérdida de la inversión realizada.
- B. Fenómenos meteorológicos: debido al notable cambio climático cada vez es más frecuente la aparición de fenómenos meteorológicos que acarrear fuertes rachas de viento que pueden provocar daños en los paneles o en las estructuras de los seguidores solares.
- C. Fallo o destrucción de equipos: aunque la mayoría de equipos disponen de una garantía, existen ciertos equipos indispensables para el funcionamiento de la planta como pueden ser los inversores y los transformadores, que en caso de sufrir un fallo provocarían el cese de la generación de energía.
- D. Empresas subcontratadas: Para la realización de las obras es necesario contratar empresas, las cuales pueden ocasionar problemas como incumplimiento de los plazos de entrega o fallos en la realización de la obra. Para evitar este riesgo lo mejor es aclarar la responsabilidad de las distintas partes en el pliego de condiciones de los contratos.
- E. Protección del medioambiente: El medioambiente es cada vez un tema de mayor importancia y hay que ser muy minuciosos con los estudios realizados con anterioridad al proyecto que permitan avalar su impacto medioambiental. No obstante siempre pueden surgir problemas en el futuro que supondrán un riesgo que habrá que solucionar.

		IMPACTO				
		Bajo 0,2		Medio 0,5		Alto 0,8
PROBABILIDAD	Baja 0,2					
			E	D		
	Media 0,5					
				B		C
	Alta 0,8					
						A

Ilustración 13- Matriz de riesgos

7. DISEÑO DE LA PLANTA SOLAR

A continuación se realizará una descripción de las diferentes soluciones adoptadas para el diseño de la planta solar.

7.1 EMPLAZAMIENTO

El emplazamiento de la planta fotovoltaica se encuentra en el paraje de Peña del Rayo, en el término municipal de Cuerva, dentro de la provincia de Toledo, perteneciente a la comunidad de Castilla-La Mancha.



Ilustración 14- Situación geográfica del emplazamiento

Las parcelas ocupadas en este proyecto son de la 1 a la 17 pertenecientes al polígono 1. Las parcelas son contiguas entre si y tienen una extensión total de 22,6 hectáreas.

PARCELA	SUPERFICIE	REFERENCIA CATASTRAL
1	11.894	45055A001000010000TQ
2	4.995	45055A001000020000TP
3	9.829	45055A001000030000TL
4	10.092	45055A001000040000TT
5	5.450	45055A001000050000TF
6	5.710	45055A001000060000TM
7	9.566	45055A001000070000TO
8	5.396	45055A001000080000TK
9	4.865	45055A001000090000TR
10	4.292	45055A001000100000TO
11	23.222	45055A001000110000TK
12	10.286	45055A001000120000TR
13	10.370	45055A001000130000TD
14	20.182	45055A001000140000TX
15	12.340	45055A001000150000TI
16	9.086	45055A001000160000TJ
17	8.194	45055A001000170000TE
18	7.162	45055A001000180000TS
19	11.912	45055A001000190000TZ
20	10.907	45055A001000200000TE
21	10.591	45055A001000210000TS
22	10.763	45055A001000220000TZ
23	8.886	45055A001000230000TU

Tabla 1- Parcelas terreno

El acceso al emplazamiento tendrá lugar por la carretera TO-3633, punto kilométrico 3.

7.2 EVACUACIÓN DE LA ENERGÍA

La conexión a la red de Iberdrola Distribución se realizará mediante una línea subterránea de media tensión (20kV) hasta la Subestación de Gálvez, subestación eléctrica más cercana, localizada en la parcela 24, polígono 16 del término municipal de Gálvez. La línea subterránea de media tensión será objeto de un proyecto aparte.

7.3 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

7.3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

La planta solar fotovoltaica que es objeto de diseño en este proyecto posee una potencia de 10 MW. La planta dispone de 4 inversores que convierten la corriente continua proporcionada por los paneles solares en corriente alterna de baja tensión. Para distribuir la energía de forma eficiente la corriente alterna de baja tensión se eleva a media tensión mediante 4 centros de transformación (CT1, CT2, CT3, CT4) de 2.500 kVA cada uno, y se construirá una línea de media tensión que unirá los centros de transformación con el centro de conexión. Finalmente la energía será evacuada mediante una línea de enlace hasta la Subestación de Gálvez, propiedad de Iberdrola Distribución Eléctrica.

Las principales características de la instalación son las siguientes:

CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA	
Potencia pico	9.979,2 kW
Tipo de paneles	330 Wp 70 células
Número de paneles	30.240 (1.008 series de 30 módulos)
Tipo de instalación	Con seguidor
Tipo de seguidor	Seguidor de un eje
Tipo de inversores	V1500 VDC y 645 VAC limitado a 2800kW
Tipo de transformadores	Transformador de media tensión 11-36 kV

Tabla 2- Características planta fotovoltaica

7.3.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos fotovoltaicos tendrán una potencia unitaria de 330Wp. El modulo está compuesto por 72 células fotovoltaicas conectadas entre sí en serie y son las encargadas de convertir la radiación solar en corriente eléctrica tal y como se ha explicado en el apartado 5.1.



Ilustración 15- Módulo Fotovoltaico

Los módulos están constituidos por células cuadradas fotovoltaicas de silicio policristalino de alta eficiencia (17.2%), capaces de producir energía con tan sólo un 5% de radiación solar. Este hecho asegura una producción que se extiende desde el amanecer hasta el atardecer, aprovechando toda la potencia útil posible que nos es suministrada por el sol.

Gracias a su construcción de conformidad con estrictas normas de calidad, estos módulos soportan las inclemencias climáticas más duras, funcionando eficazmente sin interrupción durante su larga vida útil.

Las células, de alta eficiencia, están totalmente embutidas en EVA y protegidas contra la suciedad, humedad y golpes por un frente especial de vidrio templado antirreflector de bajo contenido en hierro y una lámina de TEDLAR transparente en su parte posterior, asegurando de esta forma su total estanqueidad.

La caja de conexión lleva incorporados los diodos de derivación, que evitan la posibilidad de avería de las células y su circuito, por sombreados parciales de uno o varios módulos dentro de un conjunto.

Para las condiciones estándar de radiación 1000 W/m^2 , temperatura de célula 25°C y espectro AM 1.5 tenemos las siguientes características:

7.3.3 CAJAS DE CONEXIÓN

Las cajas de conexión permiten agrupar el cableado de un conjunto de strings de tal forma que a la salida de la caja solo sean necesarios dos cables, el positivo y el negativo, optimizando el transporte de la energía mediante un menor número de cables y de una sección mayor. Estas cajas también facilitan el mantenimiento además de estar equipadas con porta-fusibles de seguridad, fusibles DC, descargadores DC y seccionadores en carga.

El modelo elegido es de 1500V con capacidad para 24 strings de entrada.



Ilustración 16- Caja de conexión

7.3.4 CENTROS DE INVERSIÓN

El inversor es el encargado de transformar la corriente continua de los módulos fotovoltaicos en alterna y sincronizarse con la red eléctrica de la compañía suministradora. El elegido para la instalación objeto será de 1500 VDC y 645 VAC limitado a 2800kW.

En los paneles fotovoltaicos, el punto de máxima potencia (MPPT) de la curva intensidad-voltaje varía en función de distintos parámetros ambientales, como la variación de la radiación solar incidente, sombras en los paneles y los cambios de temperatura de los paneles fotovoltaicos. Para lograr el máximo rendimiento de la instalación, los inversores calculan en todo momento el punto de máxima potencia de la curva. Estos inversores ofrecen además las ventajas de los inversores strings y centrales, pero sin sus inconvenientes, debido a que poseen un diseño modular que les permite desconectar distintos string en función de la necesidad. Gracias a esto, durante condiciones de poca radiación es capaz de elegir la cantidad correcta de módulos necesarios para producir electricidad, permitiendo producir energía antes por la mañana y durante más tiempo por la tarde a diferencia de los inversores centrales.



Ilustración 17-Inversor 1500 VDC

CARACTERÍSTICAS INVERSOR	
Rango de tensión de salida a red	580 – 710Vac
THDi	<3% para cualquier condición de carga
Rango de frecuencia de red	50/60Hz
Limitación de Potencia	0-100% (escalones de 0,1%)
Entradas Analógicas Programables	1
Salidas Digitales Programables	2
Comunicaciones	Modbus RTU (RS232/RS485) Modbus TCP/IP (Ethernet)
Máximo número de entradas	Frame 1: 16 entradas

Tabla 3- Características del inversor

7.3.5 SKID DE MEDIA TENSIÓN

Mediante el Skid de media tensión se realiza el conexionado a la red de media tensión, siendo un conjunto outdoor compacto que integra todos los componentes necesarios. Consta de transformador de MT, celdas integradas en envolvente metálica, todo totalmente preparado para ser conectado al inversor AC. El Skid de media tensión ofrece la solución más eficaz, versátil y rentable para el conexionado a la red de media tensión de los inversores fotovoltaicos.

Debido a su diseño compacto, el Skid puede ser transportado con facilidad, minimizando los costes de logística e instalación en la planta. El Skid de MT se localiza de forma adyacente en la misma plataforma de hormigón que el inversor.



Ilustración 18: MV Skid

La solución incluye puente de interconexión entre el inversor y el transformador el cual está incluido en el Skid de MT. Las celdas de control están alojadas en una envolvente de metal resistente a las condiciones meteorológicas más adversas en la cual se incluye cubículo adicional con ventilación opcional proporcionando de esta forma espacio de reserva para montar posibles equipos auxiliares tales como analizadores de red, contadores, SAI's, transformadores de auxiliares, etc.

El transformador de media tensión outdoor incluye; depósito de aceite, filtro, relé de protección de sobrecalentamiento y sobrepresión y nivel de aceite. El puente de interconexión del Skid de MT queda alineado con el inversor por medio de un soporte de posicionamiento. Este soporte facilita la localización exacta entre elementos para asegurar la correcta instalación de los mismos.

7.3.6 SEGUIDORES SOLARES

Se ha elegido para la instalación presente un sistema de seguimiento solar en un eje. La utilización del seguimiento, esto es, mover las superficies receptoras para maximizar la energía solar recibida a lo largo de un período de tiempo se debe al intento de disminuir el coste de la energía producida.

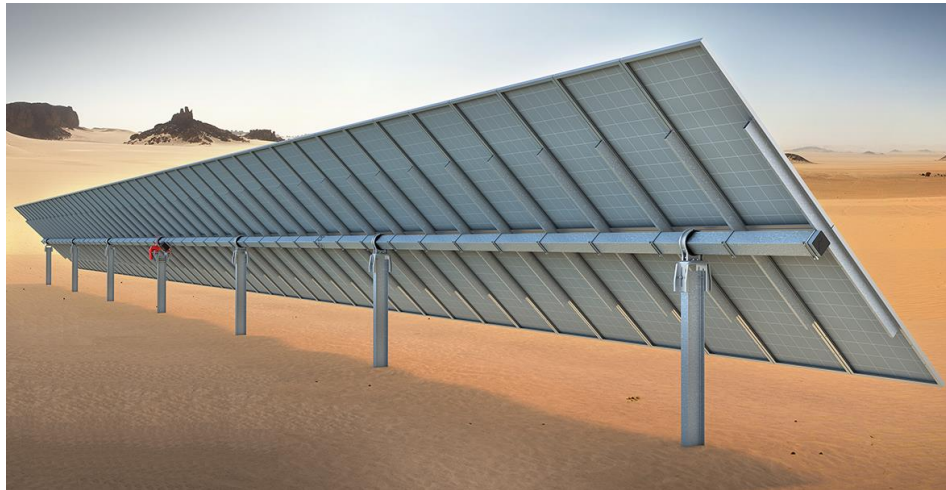


Ilustración 19- Disposición de los módulos en la estructura con seguidor

El sistema modular de filas autónomas permite una mayor eficiencia, así como la máxima adaptabilidad al terreno y la posibilidad de hacer instalaciones en pendiente de hasta un 17% en dirección Norte-Sur y pendiente ilimitada en dirección Este-Oeste. No tienen biela central, lo que posibilita la libre circulación a través de las filas de seguidores solares y un mejor aprovechamiento del suelo disponible.

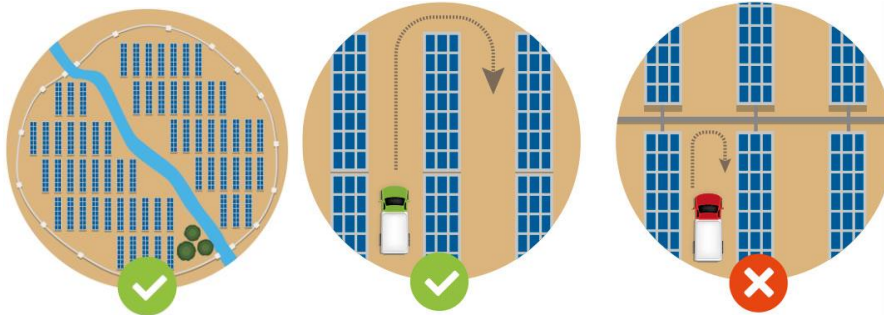


Ilustración 20: Ejemplo de adaptabilidad al terreno

Ilustración 21: Optimización del mantenimiento

A su vez estos seguidores tienen la posibilidad de realizar la cimentación sin hormigón:

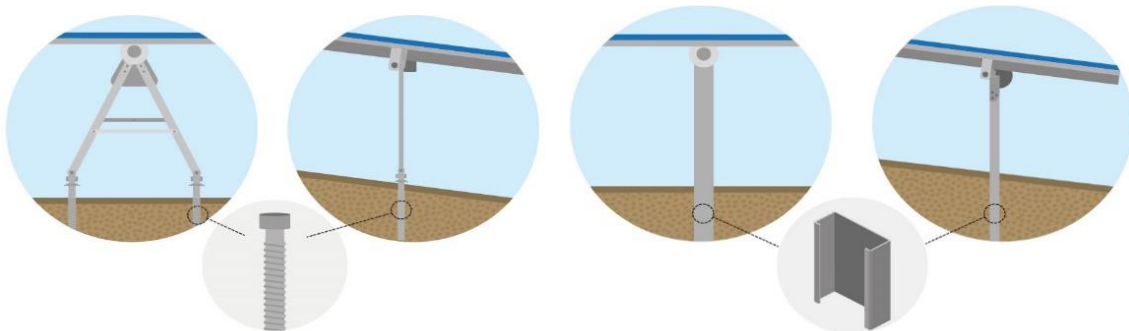


Ilustración 22: Tipos de cimentación posibles

Disponen también de Bracktracking Adaptativo, la funcionalidad de backtracking asimétrico en superficies inclinadas de los seguidores posibilita un incremento del rendimiento debido al seguimiento independiente de las filas en función de la orientación del sol.

7.3.7 INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN

Para recoger la energía producida en los paneles solares, en forma de corriente continua de baja tensión, se unen los strings con la ayuda del ‘Trunk cable’ hasta llegar a la ‘combiner box’, desde donde se evacúa mediante una red enterrada a través de una canalización que las unirá con el módulo Outdoor Inversor-Transformador. La distribución se realizará en CC a tensiones cercanas a los 1500V y cada centro albergará un cuadro de protección en baja tensión correspondiente al grupo de generadores asociados.

En el cálculo de la sección de cableado se han tenido en cuenta todas y cada una de las especificaciones contenidas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por Decreto 842/2002 de 2-8-02, y publicado en el B.O.E. del 18-9-02 y el Real Decreto 1053/2014. Se utilizarán cables unipolares con aislamiento de dieléctrico seco, de las características siguientes:

Tipo	RZ1-K	RZ1-K
Tensión	0,6/1kV	0,6/1kV
Conductor	Cobre	Cobre
Secciones	4-10 mm ²	120-240 mm ²

Tabla 4- Cables baja tensión

En la norma HD 603-1(cables 0,6 / 1kV) se define que, en un sistema de corriente continua, la tensión nominal entre conductores no debe ser superior a 1,5 veces la tensión asignada del cable (U) y la tensión nominal entre cualquier conductor y tierra no debe ser superior a 1,5 veces la tensión asignada del cable (U₀). También se introduce el valor U_m, que es el valor máximo eficaz de tensión, la más elevada de una red para la cual el material puede ser utilizado. Para los cables 0,6 / 1 kV, la máxima tensión asignada con respecto a tierra en corriente continua no superará los 1,8 kV.

Para la elección de la sección del conductor se han tenido en cuenta la intensidad máxima admisible por el cable y la caída de tensión, además de la adecuada protección de los cables contra sobrecargas y cortocircuitos mediante fusibles clase gPV o interruptores magnetotérmicos.

Los cables se etiquetarán e identificarán adecuadamente según los esquemas eléctricos y se adoptará un código de colores, facilitando las labores de mantenimiento. El conexionado en serie de los módulos se realizará mediante pequeños tramos de cables unipolares que unirán el terminal positivo de un módulo con el terminal negativo del siguiente, quedando libres un

terminal positivo y un terminal negativo en los módulos de los extremos de cada rama. Estos terminales libres se conectarán en paralelo a través de conectores apropiados al inversor.

La caída de tensión máxima admisible en la instalación fotovoltaica no deberá ser superior al 1,5% en la parte de CC. Hay que destacar que los valores utilizados de potencia y tensión de los módulos son los que proporciona el fabricante, que se refieren a unas condiciones estándar óptimas que normalmente no se darán, por lo que los niveles reales de intensidad generalmente estarán por debajo de los expuestos.

7.3.8 INSTALACIÓN DE MEDIA TENSIÓN

La instalación de media tensión es la encargada de conectar los cuatro centros de transformación de exterior con el centro de conexión. La energía transformada a media tensión se evacua, desde cada centro de transformación, mediante una red enterrada a través de una canalización que unirá los centros con el centro de conexión a red. Los centros de transformación 3 y 4 se unirán a los centros 1 y 2, y desde estos últimos se evacua la energía al centro de conexión.

La línea estará constituida por una terna de cables unipolares con aislamiento de dieléctrico seco, de las características siguientes:

Tipo	RHZ1-OL
Tensión	12/20 kV
Nº de circuitos	1
Conductor	Aluminio
Sección	150 mm ²

Tabla 5- Cable media tensión

7.3.9 CENTRO DE CONEXIÓN

Se instalará un centro de protección y medida de cliente tipo caseta prefabricada, para conectar la planta fotovoltaica con la red de distribución eléctrica. El centro dispondrá de las siguientes celdas: 2 celdas con función de línea: una para la red y otra para dar servicio a la planta fotovoltaica; una celda de protección para el transformador de servicios auxiliares, una celda de medida y una celda de interruptor automático, además de los equipos de medida de energía.

Este centro será un edificio prefabricado provisto de una sala de control y una sala de celdas, el cual estará dotado de un transformador de servicios auxiliares, que será alimentado desde su celda de protección correspondiente.

Características generales

Tensión asignada	24 kV
-------------------------	-------

Tipo de aparamenta MT	Celdas de aislamiento y corte en SF6
------------------------------	--------------------------------------

Tabla 6- Características generales

Edificio prefabricado

El edificio será prefabricado con las características siguientes:

Nº de transformadores	1
Tipo de ventilación	Normal
Puertas de acceso peatón	2
Dimensiones exteriores	12.190 x 2.430 x 2.590 mm
Altura vista	2.595mm

Tabla 7- Características edificio

Celdas de media tensión

Las celdas utilizadas serán de distribución secundaria, blindadas y aislamiento de SF6. El conductor de puesta a tierra estará dispuesto a todo lo largo de las celdas, y estará dimensionado para soportar la intensidad admisible de corta duración. El embarrado estará sobredimensionado para soportar sin deformaciones permanentes los esfuerzos dinámicos que en un cortocircuito se puedan presentar.

Las características principales de las celdas previstas son:

Tensión asignada	24 kV
Intensidad asignada en el embarrado	400 A
Intensidad de corta duración (1 s), eficaz	16 kA
Intensidad de corta duración (1 s), cresta	40 kA
Nivel de aislamiento	
Frecuencia industrial (1 min) a tierra y entre fases	50 kV
Impulso tipo rayo a tierra y entre fases (cresta)	125 kV

Tabla 8- Características celdas MT

Las celdas se instalarán agrupadas constituyendo un conjunto formado por las siguientes celdas:

- 2 celdas de línea
- 1 celda de protección por fusibles
- 1 celda de medida
- 1 celda de interruptor automático

Aparellaje

Las características constructivas de cada celda son análogas, variando únicamente el aparellaje instalado en cada una de ellas de acuerdo con las necesidades para cada tipo de servicio.

El aparellaje con que va equipado cada tipo de celda se muestra en la siguiente tabla:

Celda de línea	1 interruptor seccionador 1 interruptor de puesta a tierra Mando manual
Celda de protección	1 interruptor-seccionador 1 seccionador de puesta a tierra 3 fusibles Mando manual
Celda de Medida	3 transformadores de intensidad 3 transformadores de tensión
Celda de interruptor automático	1 interruptor automático 1 seccionador de puesta a tierra Mando manual

Tabla 9- Resumen aparellaje

Características del aparellaje

Las características eléctricas del aparellaje descrito en el apartado anterior para cada celda son las siguientes:

Interruptores	Tensión nominal	24 kV
	Tensión de ensayo 1 minuto 50 Hz	50 kV
	Tensión de ensayo onda de choque 1,2/50 μ s:	125 kV
	Intensidades nominales	400 A
	Poder de corte simétrico	16 kA

Transformadores de intensidad	Intensidades primarias nominales	100/150 A
	Intensidades secundarias (3 núcleos)	5-5-5 A
	Potencias y clases de precisión:	
	Primer núcleo (medida)	10 VA Cl. 0,2S
Segundo núcleo (medida)	15 VA Cl. 0,5	
Tercer núcleo (protección)	15 VA Cl. 5P10	
Transformadores de tensión	Tensión máxima de servicio	24 kV
	Relación	$22\sqrt{3}/0,11\sqrt{3}/0,11:\sqrt{3}/0,11:3\text{kV}$
	Potencias y clases de precisión (no simultáneas)	
	Primer núcleo (medida)	25 VA Cl. 0,2
Segundo núcleo (medida y protección)	25 VA Cl. 0,5 – 3P	
Tercer núcleo (protección)	50 VA Cl 3P	

Tabla 10- Características aparellaje

Transformador

El transformador utilizado será trifásico con neutro accesible en el secundario y refrigeración natural aceite, con las siguientes características:

Potencia nominal	50 kVA
Tensión primaria	$20 \pm 2,5\%, \pm 5\% \text{ kV}$
Tensión secundaria	420 V (B2)
Grupo de conexión	Yzn11
Tensión de cortocircuito	4%
Protección incorporada al transformador	Termómetro

Tabla 11- Características transformador

Medida de la energía eléctrica

Armario medida de A.T.

Se instalará un armario de medida en alta tensión, en instalación intemperie, formado por los siguientes elementos:

- Armario de poliéster reforzado con fibra de vidrio (750 x 750 mm) con placa base de poliéster.
- Contador trifásico electrónico bidireccional x/5 A, 110 V, compuesto por contador activa clase 0,2S, contador reactiva clase 0,5 y registrador de medidas
- Modem GSM.
- Bloque de bornes de comprobación.

Conjunto medida de B.T.

Se instalará un conjunto de medida indirecta en baja tensión para suministro de los servicios de auxiliares para colocación en intemperie (fijación sobre suelo) formado por:

- 3 armarios de poliéster reforzado con fibra de vidrio de 750x500 mm.
- 3 transformadores de intensidad de relación x/5 A.
- Contador trifásico electrónico x/5 A, 230/400 V, compuesto por contador activa clase 1, contador reactiva clase 2 y registrador de medidas
- Modem GSM.
- 3 bases portafusibles de 400 A.

Relé de protección

En la celda de interruptor automático se integrará una unidad de disparo comunicable. Las funciones de sobreintensidad de las que dispone son las siguientes:

- Protección multicurva de sobrecarga para fases (51).
- Protección de defectos multicurva entre fase y tierra (51N).
- Protección instantánea de cortocircuito a tiempo definido entre fases (50).
- Protección instantánea de cortocircuito a tiempo definido entre fase y tierra (50N).
- Además, existe una entrada para disparo mediante una señal externa (sonda temperatura, etc.)
- Dispone además de funciones de medida (clase 1):
- Valores eficaces de intensidad por fase (I1, I2, I3).
- Valor eficaz de intensidad homopolar (I0).

Elementos del sistema:

- Un relé electrónico que dispone en su carátula frontal de teclas y display digital para realizar el ajuste y visualizar los parámetros de protección, medida y control. Para la comunicación dispone de un puerto frontal RS232 y en la parte trasera un puerto RS485 (5 kV).
- Los sensores de intensidad son transformadores toroidales de relación 300 A / 1 A.
- La tarjeta de alimentación acondiciona la señal de los transformadores de autoalimentación y la convierte en una señal de CC para alimentar el relé de forma segura. Dispone de una entrada de 230 Vca para alimentación auxiliar exterior.
- El disparador biestable es un actuador electromecánico de bajo consumo integrado en el mecanismo de maniobra del interruptor.

Automatismos y control

En la celda de interruptor automático de vacío se incluirá un mando motorizado y bobinas de cierre y apertura, lo que permitirá la carga automática de los resortes, sin necesidad de orden de carga, cuando detecte que estos están destensados. No obstante, se dispondrá también de una palanca de carga de resortes para realizar la operación manualmente.

Para la realización del automatismo y las técnicas de telemando se instalará un sistema controlador de celdas capaz de comunicarse con un centro remoto mediante modem.

Señalizaciones y material de seguridad

El centro de conexión cumplirá con las siguientes prescripciones:

- Las puertas de acceso al edificio llevarán el cartel con la correspondiente señal triangular distintiva de riesgo eléctrico.
- En un lugar bien visible del edificio se situará un cartel con las instrucciones de primeros auxilios a prestar en caso de accidente.
- Cartel de las cinco reglas de oro.
- Deberá estar dotado de bandeja o bolsa portadocumentos, con la siguiente documentación:
- Manual de instrucciones y mantenimiento del CC.
- Protocolo del transformador.
- Documentación técnica.

- El CC dispondrá de banqueta aislante y guantes de goma para la correcta ejecución de las maniobras.

7.3.10 PUESTA A TIERRA

Las puestas a tierra es uno de los elementos imprescindibles de la instalación debido a que protegen tanto a las personas como a los equipos del riesgo eléctrico. Su función principal es limitar la tensión de las masas metálicas con respecto a tierra, asegurar la actuación de las protecciones y tratar de eliminar el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados. La instalación cumple con lo dispuesto en el Real Decreto 1669/2011 (artículo 15) sobre protecciones en instalaciones fotovoltaicas interconectadas a la red eléctrica:

- La instalación dispone de una separación galvánica entre la red de distribución y la instalación fotovoltaica por medio de un transformador de aislamiento.
- Las masas de la instalación estarán conectadas a una tierra independiente de la del neutro de la empresa distribuidora de acuerdo con lo indicado en los reglamentos de seguridad y calidad industrial vigentes.
- Se montará una Toma de Tierra independiente para el campo de paneles fotovoltaicos que permita una seguridad ante los fenómenos meteorológicos adversos, así como para los equipos de protección e inversores.

La conexión a tierra se define como la unión eléctrica directa, sin ninguna protección o fusibles, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo a través de una toma de tierra con un grupo de electrodos enterrados en el suelo. La finalidad de la instalación es lograr que en el conjunto de edificios e instalaciones no aparezcan diferencias de potencial, y que a su vez permita el paso a tierra de las corrientes de defecto y las de descarga.

Uniones a tierra

También se debe tener en cuenta el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, más concretamente el ICT-BT-18. Según este ITC, la elección e instalación de los materiales que aseguren la puesta a tierra deben ser tales que:

- El valor de la resistencia de puesta a tierra esté conforme con las normas de protección y de funcionamiento de la instalación y se mantenga de esta manera a lo largo del tiempo.
- Las corrientes de defecto a tierra y las corrientes de fuga puedan circular sin peligro, particularmente desde el punto de vista de solicitaciones térmicas, mecánicas y eléctricas.
- La solidez o la protección mecánica quede asegurada con independencia de las condiciones estimadas de influencias externas.
- Contemplan los posibles riesgos debidos a electrólisis que pudieran afectar a otras

partes metálicas.

Tomas de tierra

Para la toma de tierra se pueden utilizar electrodos formados por:

- barras, tubos.
- pletinas, conductores desnudos
- placas
- anillos o mallas metálicas constituidos por los elementos anteriores o sus combinaciones
- armaduras de hormigón enterradas, con excepción de las armaduras pretensadas
- otras estructuras enterradas que se demuestre que son apropiadas

Los conductores de cobre utilizados como electrodos serán de construcción y resistencia eléctrica según la clase 2 de la normal UNE 21.022. El tipo y la profundidad de enterramiento de las tomas de tierra deben ser tales que la posible pérdida de humedad del suelo, la presencia del hielo u otros efectos climáticos, no aumenten la resistencia de la toma de tierra por encima del valor previsto. La profundidad nunca será inferior a 0,50 m.

Los materiales utilizados y la realización de las tomas de tierra deben ser tales que no se vea afectada la resistencia mecánica y eléctrica por efecto de la corrosión de forma que comprometa las características del diseño de la instalación. Las canalizaciones metálicas de otros servicios no deben ser utilizadas como tomas de tierra por razones de seguridad.

Conductores de tierra

La sección de los conductores de tierra tiene que satisfacer las prescripciones del apartado posterior ‘Conductores de protección’, y cuando estén enterrados, deberán atenerse a la siguiente tabla:

Tipo	Protegido mecánicamente	No protegido mecánicamente
Protegido contra la corrosión (*)	Igual a conductores de protección	16 mm de Cobre 16 mm Acero Galvanizado
No protegido contra la corrosión		25 mm ² Cobre 50 mm ² Hierro
(*) La protección contra la corrosión puede obtenerse mediante una envolvente		

Tabla 12- Conductores de tierra

Bornes de puesta a tierra

En toda instalación de puesta a tierra debe preverse un borne principal de tierra, al cual deben unirse los conductores siguientes:

- Los conductores de tierra.
- Los conductores de protección.
- Los conductores de unión equipotencial principal.

- Los conductores de puesta a tierra funcional, si son necesarios.

Debe preverse sobre los conductores de tierra y en lugar accesible, un dispositivo que permita medir la resistencia de la toma de tierra correspondiente.

Conductores de protección

Los conductores de protección sirven para unir eléctricamente las masas de una instalación a ciertos elementos con el fin de asegurar la protección contra contactos indirectos, es decir, los conductores de protección unirán las masas al conductor de tierra.

La sección de los conductores de protección será la indicada en la tabla 4, o se obtendrá por cálculo conforme a lo indicado en la Norma UNE 20.460 -5-54 apartado 543.1.1.

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

Tabla 13-Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase

Si la aplicación de la tabla conduce a valores no normalizados, se han de utilizar conductores que tengan la sección normalizada superior más próxima. Los valores son válidos si los conductores de protección son del mismo material que los conductores activos, si no hay que aplicar las secciones que presenten una conductividad equivalente a la calculada.

Siempre y cuando los conductores de protección no formen parte de la canalización de alimentación, serán de cobre con una sección como mínimo:

- 2,5 mm², si los conductores de protección disponen de una protección mecánica.
- 4 mm², si los conductores de protección no disponen de una protección mecánica.

Cuando el conductor de protección sea común a varios circuitos, la sección de ese conductor debe dimensionarse en función de la mayor sección de los conductores de fase.

Como conductores de protección pueden utilizarse:

- conductores en los cables multiconductores, o
- conductores aislados o desnudos que posean una envolvente común con los conductores activos, o
- conductores separados desnudos o aislados.

Cuando la instalación consta de partes de envolventes de conjuntos montadas en fábrica o de canalizaciones prefabricadas con envolvente metálica, estas envolventes pueden ser utilizadas

como conductores de protección si satisfacen, simultáneamente, las tres condiciones siguientes:

- a. Su continuidad eléctrica debe ser tal que no resulte afectada por deterioros mecánicos, químicos o electroquímicos.
- b. Su conductibilidad debe ser, como mínimo, igual a la que resulta por la aplicación del presente apartado.
- c. Deben permitir la conexión de otros conductores de protección en toda derivación predeterminada.

Los conductores de protección deben estar convenientemente protegidos contra deterioros mecánicos, químicos y electroquímicos y contra los esfuerzos electrodinámicos.

Las conexiones deben ser accesibles para la verificación y ensayos, excepto en el caso de las efectuadas en cajas selladas con material de relleno o en cajas no desmontables con juntas estancas.

Las masas de los equipos a unir con los conductores de protección no deben ser conectadas en serie en un circuito de protección, con excepción de las envolventes montadas en fábrica o canalizaciones prefabricadas mencionadas anteriormente.

Resistencia de las tomas de tierra

El electrodo se dimensionará de forma que su resistencia de tierra, en cualquier circunstancia, no sea superior al valor especificado para ella, en cada caso.

Este valor de resistencia de tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V en local o emplazamiento conductor
- 50 V en los demás casos.

Si las condiciones de la instalación son tales que pueden dar lugar a tensiones de contacto superiores a los valores señalados anteriormente, se asegurará la rápida eliminación de la falta mediante dispositivos de corte adecuados a la corriente de servicio.

La resistencia de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno en el que se establece. Esta resistividad varía frecuentemente de un punto a otro del terreno, y varía también con la profundidad.

Como en este proyecto no se ha realizado un estudio geológico del suelo sobre el cuál se asienta la planta fotovoltaica, se elige un valor para la resistividad media del terreno de 300 Ωm . Una vez se dispone de este valor, se puede obtener el valor medio de la resistencia de tierra aplicando las fórmulas de la siguiente tabla:

Electrodo	Resistencia de tierra (Ω)
Placa enterrada	$R = 0,8 * \rho / p$
Pica vertical	$R = \rho / L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2 * \rho / L$

Tabla 14- Resistencia de las tierras

Donde:

ρ → Resistividad del terreno (Ωm)

P → Perímetro de la placa (m)

L → Longitud de la pica o del conductor (m)

Tomas de tierra independientes

Se considerará independiente una toma de tierra respecto a otra, cuando una de las tomas de tierra, no alcance, respecto a un punto de potencial cero, una tensión superior a 50 V cuando por la otra circula la máxima corriente de defecto a tierra prevista.

Separación entre las tomas de tierra de las masas de las instalaciones de utilización y de las masas de un centro de transformación

Se verificará que las masas puestas a tierra en una instalación de utilización, así como los conductores de protección asociados a estas masas o a los relés de protección de masa, no están unidas a la toma de tierra de las masas de un centro de transformación, para evitar que durante la evacuación de un defecto a tierra en el centro de transformación, las masas de la instalación de utilización puedan quedar sometidas a tensiones de contacto peligrosas. Si no se hace el control de independencia del punto anterior, entre las puestas a tierra de las masas de las instalaciones de utilización respecto a la puesta a tierra de protección o masas del centro de transformación, se considerará que las tomas de tierra son eléctricamente independientes cuando se cumplan todas y cada una de las condiciones siguientes:

- No exista canalización metálica conductora que una la zona de tierras del centro de transformación con la zona en donde se encuentran los aparatos de utilización.
- La distancia entre las tomas de tierra del centro de transformación y las tomas de tierra u otros elementos conductores enterrados en los locales de utilización es al menos igual a 15 metros para terrenos cuya resistividad no sea elevada ($<100 \Omega\cdot\text{m}$). Cuando el terreno sea muy mal conductor, la distancia se calculará, aplicando la fórmula:

$$D = \frac{\rho * I_d}{2 * \pi * U}$$

Donde:

D → Distancia entre electrodos (m)

ρ → Resistividad media del terreno (Ωm)

I_d → Intensidad de defecto a tierra para el lado de alta tensión

U → 1200 V para sistemas de distribución TT, siempre que el tiempo de eliminación del defecto en la instalación de alta tensión sea menor o igual a 5 segundos y 250 V en caso contrario. Para redes TN, U será inferior a dos veces la tensión de contacto máxima admisible de la instalación definida en el punto 1.1 de la MIE-RAT 13 del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantía de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.

- El centro de transformación está situado en un recinto aislado de los locales de utilización o bien, si esta contiguo a los locales de utilización o en el interior de los mismos, está establecido de tal manera que sus elementos metálicos no están unidos eléctricamente a los elementos metálicos constructivos de los locales de utilización.

7.3.10.1 Red general de puesta a tierra

Un conductor de protección conectará la puesta a tierra de todos los centros de transformación de la central, situándose en el fondo de la zanja de los cables de media tensión. La pantalla de los cables de MT que unirán los centros se conectará, en sus extremos, a la instalación de puesta a tierra de cada uno de ellos. La sección del material empleado para la construcción de líneas de tierra será cobre desnudo de 50 mm².

7.3.10.2 Puesta a tierra del centro de Conexión

La tierra del centro de conexión estará unida a la red general de puesta a tierra que hará las funciones de tierra de protección y tierra de servicio.

Todas las partes metálicas no unidas a los circuitos principales de todos los aparatos y equipos instalados en el centro de conexión se unen a la tierra: envolventes de las celdas y cuadros de BT, rejillas de protección, carcasa de los transformadores, etc., así como la armadura del edificio. No se unirán, por contra, las rejillas y puertas metálicas del centro.

Para disponer una puesta a tierra única para los sistemas de protección y servicio se asegurará una resistencia de puesta a tierra igual o menor a 2 Ω . La configuración de la red de puesta a tierra será de cobre desnudo de 50 mm² en forma de anillo rectangular.

7.3.10.3 Puesta a tierra de los centros de transformación

La tierra de los centros de transformación estará unida a la red general de puesta a tierra que hará las funciones de tierra de protección y tierra de servicio.

Todas las partes metálicas no unidas a los circuitos principales de todos los aparatos y equipos instalados en los centros de transformación se unen a la tierra: envolventes de las celdas y cuadros de BT, rejillas de protección, carcasa de los transformadores, etc., así como la armadura del edificio.

El neutro del sistema de BT se conecta a la toma de tierra general. Para disponer una puesta a tierra única para los sistemas de protección y servicio se asegurará una resistencia de puesta a tierra igual o menor a 2Ω . La configuración de la red de puesta a tierra de cobre desnudo de 50 mm² en forma de anillo rectangular.

7.3.10.4 Puesta a tierra del campo fotovoltaico

La tierra del campo fotovoltaico estará unida a la red general de puesta a tierra que hará las funciones de tierra de protección y tierra de servicio, mediante la red de tierras de los centros de transformación. Todas las partes metálicas se unen a la tierra: cuadros de conexión, estructura y módulos.

El neutro del sistema de BT se conecta a la toma de tierra general. Para disponer una puesta a tierra única para los sistemas de protección y servicio se asegurará una resistencia de puesta a tierra igual o menor a 2Ω .

7.3.10.5 Puesta a tierra del vallado perimetral y del sistema de seguridad

Se conectarán a tierra todas las partes metálicas accesibles del sistema de seguridad perimetral: vallado y sistema de seguridad.

Cada cámara de seguridad sobre soporte metálico dispondrá, en su arqueta correspondiente, de una pica de tierra, unidas éstas entre sí mediante una línea de enlace a base de conductor unipolar de cobre de sección mínima 16 mm². Este conductor de enlace discurrirá fondo de la canalización directamente enterrado.

La conexión a tierra de los soportes, desde su fuste hasta el electrodo de tierra, se hará sobre el tornillo que deberán de disponer éstos y se efectuará con terminal y conductor unipolar de cobre de sección mínima 16 mm².

7.3.11 SERVICIOS AUXILIARES

La función de los servicios auxiliares es la de garantizar el suministro de energía eléctrica en baja tensión, necesario para la explotación y mantenimiento de todos los equipos de la instalación.

La energía necesaria para la alimentación de los servicios auxiliares será aportada por el transformador instalado en el centro de conexión. La instalación contará con un cuadro general situado en el centro de conexión para alimentar el sistema de seguridad perimetral y los requisitos de suministro eléctrico de los edificios principales.

Las necesidades de alimentación auxiliar de los centros de transformación serán alimentadas desde el campo solar.

7.3.11.1 Monitorización

Se utilizará un sistema de adquisición de datos que permita controlar las diferentes variables de la instalación, lo cual facilitará al usuario información sobre el comportamiento general del sistema.

7.3.11.2 Estación meteorológica

Para realizar las medidas de las prestaciones reales de la instalación se utilizarán los siguientes equipos:

- Célula solar calibrada para calcular la radiación solar real en W/m².
- Anemómetro.
- Sensor para medir la temperatura ambiente.
- Se utilizará un mástil de 2 metros de altura, compuesto por secciones tubulares de acero galvanizado, en el que se colocarán los mecanismos de medición.

7.3.11.3 Sistema de seguridad perimetral

Para detectar la presencia de intrusos se instalará un sistema de seguridad perimetral mediante un circuito cerrado de televisión. El sistema de videovigilancia consiste en varias cámaras térmicas, instaladas sobre columnas troncocónicas de 3m y ubicadas en el perímetro de la parcela, que detectarán al intruso y activarán a varias Domo, colocadas en lugares estratégicos sobre columnas de 4 m de altura, que filman y transmiten imágenes a los monitores de la oficina central de vigilancia. El sistema de CCTV proporcionará imágenes de excelente calidad tanto de día como de noche en la oscuridad.

La central de intrusión será el elemento encargado de gestionar las señales de alarma, provenientes de los sistemas de detección. En caso de que una de las zonas salte, la cámara Domo más cercana dará un barrido por la zona, evitando las alarmas no deseadas.

En caso de intrusión, el sistema enviará una señal de aviso al centro integral de seguridad. El centro procederá a la verificación por los medios existentes, avisando en su caso a las fuerzas de seguridad, bomberos, etc., además de al responsable de la instalación. Para garantizar que el sistema funcione en caso de corte de suministro eléctrico se instalará un SAI.

7.3.12 OBRA CIVIL

La obra civil para la construcción de la instalación consistirá en:

- Explanación y acondicionamiento del terreno, lo que implica la realización de excavaciones, rellenos, compactación y estabilidad mediante taludes.

- Ejecución de los accesos a la planta.
- Construcción del cerramiento.
- Ejecución de viales interiores con un firme apto para el tránsito de vehículos.
- Realización de las cimentaciones para estructura y soportes.
- Canalizaciones para los cables de potencia y control.

7.3.12.1 Viales

Se abrirán nuevos caminos de acceso a la instalación.

En el interior del recinto se ejecutarán viales para permitir el acceso de vehículos a los edificios prefabricados y permitir el acceso a los generadores para su limpieza y mantenimiento.

Las características principales de estos viales son:

Anchura útil de la calzada	3m
Pendiente transversal	2%
Radio de curvatura mínimo (al borde interior)	4m
Firme	Zahorra artificial
Espesor del firme	20cm

Tabla 15- Características viales

7.3.12.2 Canalizaciones

Canalizaciones para baja tensión

Los cables de baja tensión se alojarán en zanjas de 1,15 m de profundidad y una anchura mínima de 0,90 m, para canalizaciones de 1 a 8 circuitos.

En el lecho de la zanja se colocará una capa de arena de un espesor de 0,10 m, sobre la que se depositarán los cables a instalar. Sobre cada fila de cables se dejará una capa de 0,20 m de arena. Encima irá otra capa de tierra compactada procedente de la excavación de las zanjas con un espesor mínimo de 0,25 m, y sobre ésta se instalará una cinta de protección mecánica a lo largo de todo el trazado, y que servirá a su vez de señalización de los cables. Finalmente se dejará una nueva capa de tierra compactada de 0,40 m, que será la superficie final.

En el caso de zanjas situadas bajo caminos, las capas entre cables estarán rellenas con hormigón y los cables se instalarán bajo tubos.

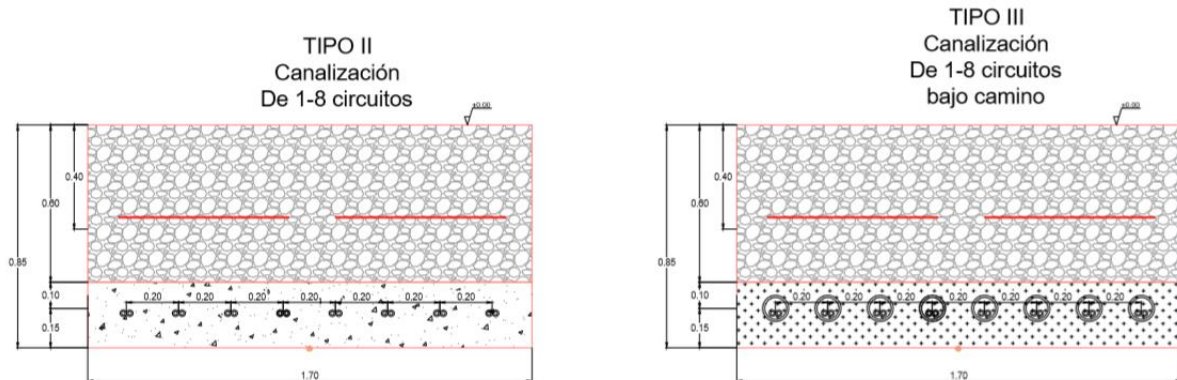


Ilustración 23: Detalle de zanjas para circuitos de Baja Tensión (izqda.) y de zanjas bajo camino (dcha.)

Canalizaciones para media tensión

Los cables de media tensión se alojarán en zanjas de 1,10 metros de profundidad y una anchura mínima de 0,60 metros para canalizaciones de un solo circuito, y de 1,00 metros para canalizaciones de dos circuitos.

En el lecho de la zanja se colocará una capa de arena de un espesor de 0,15 m, sobre la que se depositarán los cables a instalar. Sobre esta fila de cables se dejará otra capa de 0,15 m de arena. Encima irá otra capa de tierra compactada procedente de la excavación de las zanjas con un espesor mínimo de 0,20 m, y sobre ésta se instalará una cinta de protección mecánica a lo largo de todo el trazado, y que servirá a su vez de señalización de los cables. Finalmente se dejará una nueva capa de tierra compactada de 0,60 m, que será la superficie final.

En el caso de zanjas situadas bajo caminos, las capas entre cables estarán rellenas con hormigón y los cables se instalarán bajo tubos de igual manera que ocurriría con las zanjas de baja tensión.

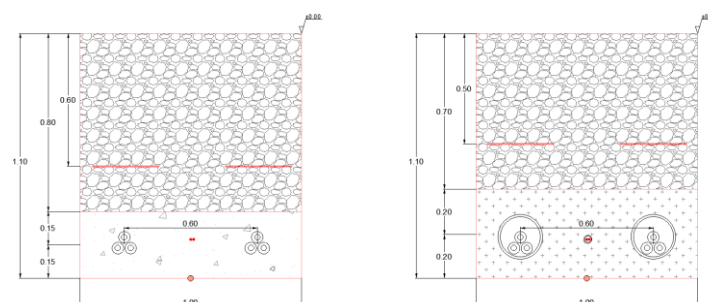


Ilustración 24: Detalle de zanjas para circuitos de Media Tensión (izqda.) y de zanjas bajo camino (dcha.)

Los cables de baja tensión y control se alojarán en zanjas.

En el lecho de la zanja se colocará una capa de arena de un espesor de 0,05 m, sobre la que se depositarán los tubos de polietileno de doble pared, corrugada y de color rojo la exterior, lisa e incolora la interior y con guía de plástico resistente. Encima irá otra capa de arena con un

espesor mínimo de 0,10 m, sobre la que se colocará una cinta de señalización como advertencia de la presencia de cables eléctricos. A continuación, se tenderá una capa de tierra procedente de la excavación y con tierras de préstamo.

7.3.12.3 Cerramiento

Todo el recinto de la instalación estará protegido por un cerramiento realizado con malla metálica anudada galvanizada tipo 200-20-15, rematada en su parte superior con un alambre, fijado todo sobre postes metálicos de 48 mm de diámetro, colocados cada 2,50 m.

La sujeción de los postes al suelo se realizará mediante dados de hormigón. La malla no estará anclada al suelo en puntos distintos a los de los postes de sujeción.

El cerramiento así constituido tendrá una altura de 2 m sobre el terreno. La parte del cercado en contacto con el suelo dispondrá regularmente de una “luz de malla” de 30x20 centímetros.

Se instalará una puerta principal de acceso a la instalación de 6 de anchura. La puerta será corredera sin dintel y se accionará manualmente.

El cerramiento tendrá en sus puertas señales normalizadas de advertencia de riesgo eléctrico.

METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO

1. DIAGRAMA DE GANTT



2. PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

El valor numérico más importante en toda instalación destinada a la producción de energía eléctrica, es la cantidad de energía final producida que se va a verter a la red, y con la cual se obtendrán los beneficios económicos.

2.1 PERFORMANCE RATIO (PR)

Para obtener un correcto diseño de la instalación fotovoltaica es fundamental conocer el rendimiento global de la instalación, conocido como performance ratio (PR), ya que evalúa la diferencia entre la energía que suministra un sistema fotovoltaico real y una instalación ideal sin pérdidas. Es decir, el performance ratio se refiere a la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo, y determinará la producción de energía, considerando las distintas pérdidas energéticas que se producen debido a una serie de factores como los siguientes:

- Pérdida de potencia de los paneles fotovoltaicos por efecto de la temperatura
- Pérdidas en el cableado por efecto Joule
- Pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad
- Pérdidas por conexionado de los módulos
- Pérdidas por reflexión
- Pérdidas en inversores y transformadores
- Otras pérdidas

A continuación se analizan y evalúan cada uno de estos puntos.

2.1.1 Pérdidas por efecto de la temperatura sobre los paneles

Los paneles fotovoltaicos, como ya se mencionó en el apartado 5.2 de la memoria descriptiva, sufren una pérdida de eficiencia debida al aumento de la temperatura de operación de sus células. Para calcular la temperatura de funcionamiento de las células del módulo fotovoltaico, es necesario conocer la temperatura de operación nominal de la célula (T_{onc}). Para el caso del módulo fotovoltaico CS6U-330P, la temperatura de operación nominal es de 46°C, que se alcanza cuando las condiciones son las siguientes:

- Irradiancia recibida: 800 W/m²
- Temperatura ambiente: 20°C
- Velocidad del viento: 1 m/s
- Espectro solar: 1,5

Para obtener la temperatura de las células en funcionamiento se utiliza la siguiente fórmula:

$$T_c = T_{amb} + I * \left[\frac{(T_{onc} - 20)}{800} \right] \text{ Ecuación 3}$$

- T_c (°C): Temperatura de las células fotovoltaicas.
- T_{amb} (°C): Temperatura ambiente.
- T_{onc} (°C): Temperatura de operación nominal de una célula FV en condiciones nominales de operación que son, una irradiancia total de 800 W/m², espectro del Sol AM1.5, una temperatura del aire de 20°C, y una velocidad de viento de 1 m/s. Dato facilitado en la ficha de especificaciones técnicas del módulo.
- I (W/m²): Irradiación solar medida con célula solar calibrada en CEM situada en el emplazamiento. Datos obtenidos del JRC European Energy Commission (PVGis) o

algún Organismo Oficial similar (AEMET, etc.).

Para calcular la pérdida de eficiencia debido al incremento de temperatura, se aplica la siguiente fórmula:

$$\eta_{temp} = 1 + \frac{-0,4}{100} * (T_{cel} - 25) \quad \text{Ecuación 4}$$

Para realizar una estimación de las pérdidas a lo largo de los años de funcionamiento, es preciso tener en cuenta que la producción de energía en la instalación tiene lugar durante el día, y por tanto utilizar datos de temperaturas medias mensuales no es exacto ya que estos valores tienen en cuenta las temperaturas nocturnas. En consecuencia, hay que considerar la media de las temperaturas durante las horas del sol.

También es necesario para realizar los cálculos, obtener la irradiancia media recibida por los paneles solares durante los mismos intervalos de horas de sol que los utilizados para las temperaturas medias. Estos valores son muy complicados de obtener con exactitud debido a que los paneles de la instalación tienen seguidor solar a un eje, y por lo tanto la radiación recibida depende del ángulo de inclinación de los mismos.

Gracias a la herramienta de la Unión Europea “PVGIS”, es posible extraer los datos de la irradiación global sobre un plano con seguidor de dos ejes, lo cual permite obtener unos valores acordes con la instalación de este proyecto. También proporciona las temperaturas medias durante las horas de sol, por lo tanto ya se tienen los datos necesarios. Las tablas Excel utilizadas se encuentran en el anexo de la memoria de cálculo.

Temperatura media durante los horas de sol (°C)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
7,1	7,5	10,9	14,6	18,8	23,5	27,9	27,6	22,9	17,6	11,4	8,4

Tabla 16- Temperaturas medias Toledo durante las horas de sol

Irradiancia media mensual durante las horas de sol (w/m2)											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
582	663	690	666	702	781	858	829	757	684	631	592

Tabla 17- Irradiancia media en Toledo durante las horas de sol

Con estos valores y las características del módulo fotovoltaico, del cual se sabe que tiene un coeficiente de pérdida de potencia de -0,4%/°C, se obtiene la temperatura de las células y la pérdida de potencia en cada mes:

Temperatura media de las células y rendimiento de los módulos												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T(°C)	26	29	33,3	36,2	41,6	48,9	55,8	54,5	47,5	39,8	31,9	27,6
η_{temp}	99,6	98,4	96,7	95,5	93,4	90,4	87,7	88,2	91	94,1	97,2	98,9

Tabla 18- Temperatura media y rendimientos de los módulos

Finalmente es necesario ponderar las pérdidas de potencia en función de los meses, debido a que los meses en los que la producción es mayor, también son los meses con mayores pérdidas debido a la temperatura, por lo tanto la siguiente tabla muestra el resultado final:

Pérdida de eficiencia por temperatura													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
η_{temp}	99,6	98,4	96,7	95,5	93,4	90,4	87,7	88,2	91	94,1	97,2	98,9	
Pond	1	1	2	3	3	3	4	3	2	2	1	1	
Rendimiento anual (%)												92,73%	

Tabla 19- Pérdida de eficiencia por temperatura

El programa PVsyst realiza su propia aproximación de las pérdidas debidas a la temperatura de los módulos, pero tiene también en cuenta como factor determinante el viento. Pero el cálculo del viento no es sencillo, por un lado está la complicación de conocer los valores diarios del viento para poder cuantificar su efecto, y por otro lado que las medidas de velocidad tomadas en las bases de datos meteorológicas son a 10 metros de altura en campo abierto, que difiere de la velocidad a la altura de los módulos.

Por lo tanto el programa PVsyst dispone de distintos parámetros que describen de la mejor manera posible el comportamiento de la temperatura de los módulos, que para el caso de este proyecto en el cual no se dispone de valores para la velocidad del viento, se asume un valor medio de la velocidad del viento de 1,5 m/s:

$$U_C = 29 \text{ W/m}^2 \cdot k \quad U_V = 0 \text{ W/m}^2 \cdot k / \text{m/s}$$

2.1.2 Pérdidas por conexionado (mismatch)

Las pérdidas por conexionado son las pérdidas causadas al realizar la conexión entre módulos de distinto valor de potencia. El proceso de fabricación industrial de los módulos fotovoltaicos no es exacto, ya que las células fotovoltaicas de las que se componen son

distintas entre ellas, y por lo tanto la potencia de cada módulo puede variar de uno a otro generando pérdidas.

Al realizar la conexión en serie de los módulos, el panel que disponga de menor potencia de todos limitará la corriente que circule por la serie al no poder permitir la circulación de más corriente que el máximo que él puede dar. Y cuando la conexión sea en paralelo, el módulo con menor potencia limitará la tensión máxima del conjunto.

Las pérdidas por conexionado se encuentran por lo general en el rango del 1% al 4%, en el caso de este proyecto se ha escogido el valor del 3% (ver simulación PVSyst, Anexo I).

2.1.3 Pérdidas en el cableado por efecto Joule

Tal y como se menciona en el apartado “3.Cálculos Eléctricos” expuesto más adelante, las secciones de los cables se dimensionan para garantizar que la caída de tensión no sea superior al 1,5%. Esta caída de tensión se producirá cuando las condiciones de funcionamiento sean las nominales, pero normalmente la irradiancia es inferior a la nominal, y por lo tanto también las intensidades que recorren los cables, produciendo menores pérdidas.

En este tipo de instalaciones, las pérdidas por efecto Joule en el cableado tienen lugar principalmente en la parte de corriente continua debido a sus menores secciones. De los valores calculados en apartados posteriores se obtienen unas pérdidas de 1,08% en la parte de continua y un 0,12% en la de alterna, siendo el total un 1,2%.

2.1.4 Pérdidas por suciedad

Las instalaciones fotovoltaicas se encuentran a la intemperie y muchas veces en lugares con terrenos áridos debido a la radiación solar. Los paneles a lo largo del tiempo van adquiriendo partículas de suciedad que se depositan sobre ellos, impidiendo que puedan captar la totalidad de la radiación solar, y por lo tanto reduciendo su rendimiento. Para evitar estas pérdidas los paneles se limpian con una determinada frecuencia. Un módulo con suciedad suele tener un factor de pérdida de rendimiento de alrededor del 5%, por lo que en este proyecto se tomará un valor medio de un 2%, aunque es un valor aproximado.

2.1.5 Pérdidas por degradación inducidas por la luz (LID)

Estas pérdidas conocidas como LID (light induced degradation), son las pérdidas inducidas por la luz durante las primeras horas de exposición al sol de los módulos. Se deben a un fenómeno específico de los módulos cristalinos dopados con boro tipo p, causado por el oxígeno incluido en la fundición del silicio.

Conocer las pérdidas por este efecto es muy complicado ya que los fabricantes no proporcionan ninguna referencia debido a que no se tiene en cuenta en el flash-test al final del proceso de fabricación. Las pérdidas representan alrededor del 1 al 3% de pérdida de potencia respecto a los valores STC. El programa PVSyst utiliza por defecto un valor del 2% de pérdidas.

2.1.6 Pérdidas por degradación inducida por potencial

Son las pérdidas que se producen por la disminución del rendimiento de los módulos fotovoltaicos con el paso del tiempo. Como norma general se utiliza la garantía de potencia del fabricante, que garantiza una potencia del 90% transcurridos 10 años y un 80% al de 25 años. Estos valores suponen una degradación del -0,8% al año, el cual es mucho mayor a los valores reales. El valor más aceptado internacionalmente es de una degradación del -0,4% anual, valor utilizado por defecto en el programa PVsyst.

2.1.7 Pérdidas por el ángulo de incidencia IAM

El valor de la potencia nominal de los módulos suministrada por los fabricantes, ha sido determinado bajo las condiciones STC (irradiación de 1000 W/m², temperatura ambiente 25°C, AM=1,5) y para un ángulo de incidencia de los rayos solares perpendicular al módulo, pero en la realidad la mayor parte de los rayos no inciden perpendicularmente.

Este hecho produce una disminución de la irradiancia que llega a las células debido a las reflexiones. Este fenómeno fue descrito por Fresnel, que enunció que cuando una onda pasa a través de dos superficies de diferente índice de refracción, experimenta un cambio de dirección y velocidad, tal y como ocurre en los módulos al incidir los rayos sobre el cristal protector.

El programa PVsyst es capaz de calcular estas pérdidas en función de los datos proporcionados sobre el tipo de módulo, ángulo de inclinación y demás variables. Para el caso de este proyecto el valor calculado se corresponde con unas pérdidas del 1,31%.

2.1.8 Pérdidas por rendimiento del inversor

El inversor es uno de los equipos principales en la producción de la energía eléctrica en instalaciones solares y su rendimiento afecta de forma directa la producción. El inversor utilizado en este proyecto tiene un rendimiento del 98,7%, por lo tanto las pérdidas se corresponderán con un 1,3%.

2.1.9 Pérdidas en el transformador

El transformador al igual que el inversor, dispone de su propio rendimiento, el cual va a afectar a la potencia de salida. El rendimiento del transformador utilizado en este proyecto es del 99,3%, lo cual supone unas pérdidas de 0,7%.

2.1.10 Pérdidas por indisponibilidad

Estas pérdidas son las debidas a las desconexiones por razones de averías o de mantenimiento. El programa PVsyst permite definir estas pérdidas como un número de días o como un porcentaje de tiempo. En este proyecto se ha establecido una indisponibilidad del 2%, lo cual corresponde con un tiempo de 7,3 días, y se han repartido en 3 períodos.

2.1.11 Resumen de pérdidas

Los resultados de las pérdidas se muestran en la siguiente tabla:

Pérdidas de eficiencia globales (%)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
η_{temp}	99,6	98,4	96,7	95,5	93,4	90,4	87,7	88,2	91	94,1	97,2	98,9
Mismatch	3											
Cableado	1,2											
Suciedad	2											
LID	2											
PID	0,4											
IAM	1,31											
Inversor	1,3											
Trafo	0,7											
Paradas	2											
Total	14,3	15,5	17,2	18,4	20,5	23,5	26,2	25,7	22,9	19,8	16,7	15
PR	85,7	84,5	82,8	81,6	79,5	76,5	73,8	74,3	77,1	80,2	83,3	85
Rendimiento global (%)											80,3%	

Tabla 20- Pérdidas de eficiencia globales

3. DIMENSIONADO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

En este apartado se va a elegir la configuración idónea de la instalación en función de los voltajes, tanto de los paneles como de los inversores, y de otros factores como la sombra proyectada por los propios módulos fotovoltaicos.

3.1 TEMPERATURAS MÁXIMA Y MÍNIMA DE LOS MÓDULOS

Para la realización de cálculos posteriores con las tensiones, es importante conocer las temperaturas extremas que condicionarán la distribución de los paneles. La temperatura juega un papel importante en la eficiencia de los módulos puesto que afecta directamente a la tensión de los mismos como ya se explicó en el apartado 5.2 de la memoria descriptiva.

En primer lugar, para calcular las temperaturas que se pueden alcanzar en los módulos, es necesario conocer las temperaturas máximas y mínimas de la zona en la que se encuentra el parque fotovoltaico. Para ello, se utilizan los datos recogidos por el organismo oficial AEMET, quien posee un histórico de datos en la zona. Escogido un periodo de años desde 1995 hasta 2018, la temperatura mínima ha sido de -9.6°C y la temperatura máxima de 43.1°C .

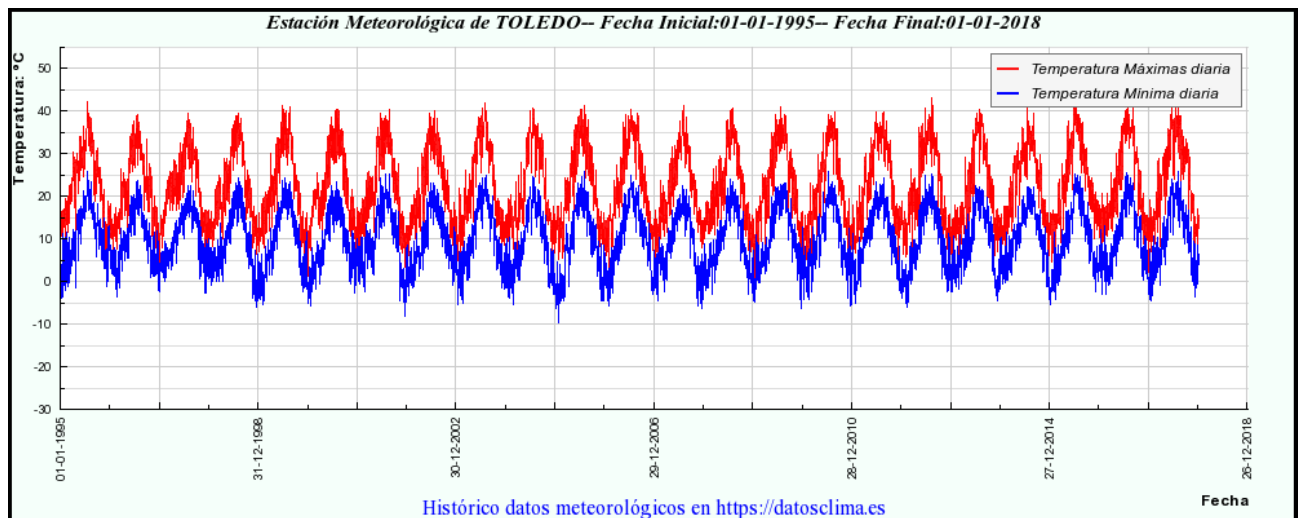


Ilustración 25- Histórico de temperaturas máximas y mínimas

Para calcular la temperatura de las células solares en funcionamiento, hay que aplicar la ecuación 3 definida en el apartado 1.1.1. Con el valor de la máxima temperatura y un valor de irradiancia de $1000\text{W}/\text{m}^2$ obtengo la temperatura máxima de las células y con el valor mínimo de temperatura y una irradiancia de $100\text{W}/\text{m}^2$ el valor mínimo:

$$T_{c,max} = 43.1 + 1000 * \left[\frac{(46 - 20)}{800} \right] = 75,6^{\circ}\text{C}$$

$$T_{c,min} = -9.6 + 100 * \left[\frac{(46 - 20)}{800} \right] = -6,35^{\circ}\text{C}$$

Según la ficha de especificaciones técnicas del módulo, el rango de temperaturas de operación es desde -40°C hasta 85°C , luego se encuentran dentro de lo permitido.

3.2 TENSIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA DE LOS PANELES

Conocidas la temperatura máxima y mínima de las células fotovoltaicas, se pueden calcular los valores de tensión mínima y máxima correspondientes, considerando una temperatura ambiente de 25°C. Es necesario utilizar el concepto de coeficiente de temperatura (β) proporcionado por el fabricante del panel, que permite conocer la tensión de salida del panel a una temperatura determinada, utilizando las siguientes expresiones:

$$\beta = -0,31 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}} * \frac{45,6 \text{ V}}{100} = -0,141 \frac{\text{V}}{^{\circ}\text{C}}$$

$$V_{panel} = V_{MPP} + (T^{\circ}_{panel} - T^{\circ}_{ambiente}) * \beta$$

$$V_{panel,min} = 37,2 + (75,6 - 25) * -0,141 = 30 \text{ V}$$

$$V_{panel,max} = 37,2 + (-6,35 - 25) * -0,141 = 41,62 \text{ V}$$

Tal y como se había explicado anteriormente, la tensión máxima tiene lugar los días fríos y la mínima los días calurosos. Estos valores son de utilidad para realizar el siguiente apartado en el cual se calculan el número de paneles en serie.

3.3 NÚMERO DE PANELES EN SERIE

En una instalación fotovoltaica los paneles se conectan primero en serie y después estas series se conectan en paralelo con otras, puesto que se desea aumentar lo máximo posible el voltaje. Para conocer el número mínimo y máximo de paneles que pueden ser conectados en serie, hay que realizar unos cálculos en función de los valores del inversor: rango de tensiones de máxima potencia y máxima tensión en corriente continua.

El número mínimo de paneles en serie tiene lugar cuando la temperatura ambiente es alta y existe una mayor radiación, ya que implica una alta temperatura de operación de la célula, que tal y como fue explicado en el apartado 5.2 disminuye la tensión de salida del módulo. Si esta tensión disminuye hasta encontrarse fuera del rango del punto de máxima potencia, el inversor establece que no hay suficiente potencia para mantener los paneles conectados y se desaprovecharía la energía.

Según lo calculado en el apartado anterior, la máxima temperatura de operación de la célula es de 75,6°C, consecuentemente el número mínimo de paneles será:

$$N^{\circ} \text{ mínimo paneles} = \frac{V_{min,inversor}}{V_{min,panel}} = \frac{891}{30} = 29,7$$

$$N^{\circ} \text{ máximo paneles} = \frac{V_{max,inversor}}{V_{max,panel}} = \frac{1310}{41,62} = 31,48$$

Según estos cálculos, hay que instalar 30 o 31 paneles en serie, escogiendo 30 por ser un número más cómodo que facilita la distribución de los paneles en el terreno. Poder colocar 30 paneles en serie es muy beneficioso ya que minimiza la cantidad de strings y por lo tanto el número de combiner boxes a instalar, reduce la cantidad de cable necesario y también permite utilizar menor cantidad de seguidores solares.

Es necesario realizar una última comprobación para contrastar que la tensión de circuito abierto del conjunto de paneles en serie es menor que la tensión máxima del inversor en corriente continua:

$$N^{\circ}_{\text{paneles serie}} * V_{OC}(-6^{\circ}\text{C}) = 30 * 49,97 = 1499,1\text{V} < 1500\text{V}$$

Aunque este valor se encuentra en el límite, nunca se llegará a alcanzar debido a que la temperatura mínima se da por la noche cuando los paneles no están funcionando.

3.4 NÚMERO DE STRINGS EN PARALELO

Otra de las condiciones impuestas por el inversor es el número máximo de strings en paralelo, que depende por un lado de la potencia que es capaz de generar el inversor y por otro de la intensidad máxima admisible por el inversor en corriente continua.

Se comienza aplicando el criterio de la potencia comparando la potencia generada por un string de inversores con la potencia que es capaz de generar el inversor:

$$N^{\circ}_{\text{maximo de strings}} = \frac{P_{N,\text{inversor}}}{P_{\text{max,string}}} = \frac{2750 * 1000}{30 * 330} = 277,8 \approx 278 \text{ strings en paralelo}$$

Según el criterio de la intensidad, hay que comprobar que la intensidad suministrada por los módulos no excede la máxima que puede admitir el inversor, y en los módulos la intensidad máxima tiene lugar en cortocircuito. Al aumentar la temperatura de las células, aumenta la intensidad, y utilizando el coeficiente de temperatura (α) se calcula la intensidad de cortocircuito máxima:

$$I_{SC,\text{max}} = 9,45 + \left[(75,6 - 25) * 0,05 * \frac{9,45}{100} \right] = 9,69$$

$$N^{\circ}_{\text{maximo de strings}} = \frac{I_{\text{max,inversor}}}{I_{SC,\text{max}}} = \frac{5450}{9,69} = 562,4 \approx 562 \text{ strings en paralelo}$$

De los dos criterios el más restrictivo es el de la potencia con un número máximo de 278 strings en paralelo.

3.5 CONFIGURACIÓN ELEGIDA

Conociendo todas las limitaciones impuestas por el inversor, se escoge una configuración de paneles para ser distribuidos por el terreno. La planta tiene un total de 30240 paneles, que al ser instalados en series de 30, da como resultado un total de 1008 strings. En función del número máximo de paneles en serie se necesita instalar 4 inversores, y por lo tanto distribuyendo uniformemente los strings en los inversores, cada inversor cuenta con 252 strings en paralelo.

3.6 SOMBRAS Y DISTANCIAS (PITCH)

Para calcular la distancia mínima entre filas de paneles, es de uso común el criterio de que al mediodía del solsticio de invierno, el cual es el caso más desfavorable debido a que el sol se encuentra en su posición más baja y por lo tanto las sombras son más alargadas, no haya sombras sobre los paneles. En la siguiente ilustración se puede apreciar las distancias que se van a calcular.

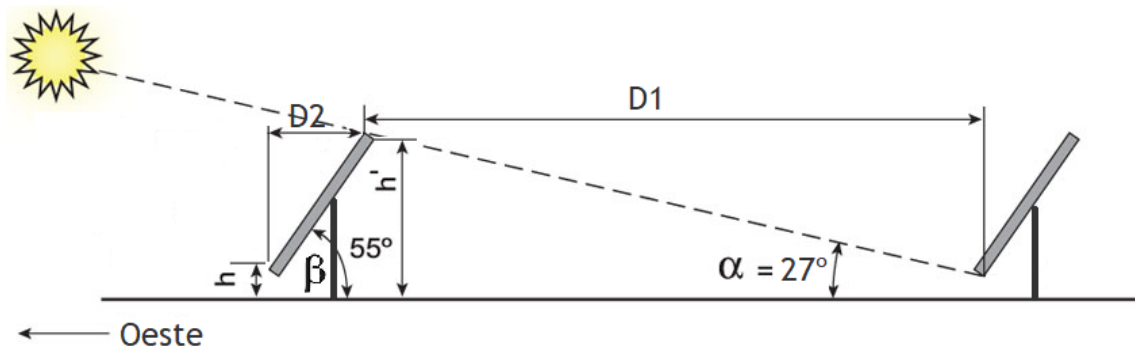


Ilustración 26- Valores calculados en el pitch

$$\alpha = 90 - 39,66 - 23,45 = 26,9$$

$$h' = h + L_m * \text{sen}(\beta) = 0,7 + 4 * \text{sen}(55) = 3,98 \approx 4$$

$$D1 = \frac{h'}{\tan(\alpha)} = \frac{4}{\tan(26,9)} = 7,88$$

$$D_{\text{min}} = D2 + D1 = L_m * \cos(\beta) + D1 = 4 * \cos(55) + 7,88 = 10,17 \text{ m}$$

Siendo:

- α : altura del sol.
- β : inclinación del módulo con respecto al plano del suelo.
- h : mínima distancia entre el suelo y el panel cuando está inclinado 55° .
- h' : máxima distancia entre el suelo y el panel cuando está inclinado 55° .
- L_m : longitud del conjunto de paneles fotovoltaicos.

Luego la distancia mínima escogida es de 10,5 metros, distancia suficiente para asegurar que no habrá sombras durante las horas centrales del día. Para mejorar aún más el rendimiento solar de la instalación, los seguidores solares disponen de un sistema de backtracking, el cual permite a las filas de paneles tener distintas inclinaciones para evitar las sombras durante las primeras y últimas horas del día que es cuando el sol está más bajo.

4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

4.1 CÁLCULOS INSTALACIÓN BAJA TENSIÓN

En este apartado se va a proceder a calcular la dimensión de las distintas secciones de los cables de baja tensión de la instalación, es decir, el cableado de conexión que une los paneles fotovoltaicos con las cajas de concentración y el cableado de unión de las cajas de concentración con los inversores. Este proceso se realizará cumpliendo el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

4.1.1 CRITERIOS PARA DETERMINAR LA SECCIÓN DEL CABLEADO

El criterio de determinación de la sección de un cable consiste en calcular la sección mínima capaz de cumplir simultáneamente las tres condiciones siguientes:

- **Criterio de la intensidad máxima admisible o de calentamiento**

El criterio térmico limita la intensidad máxima admisible por el cable en régimen permanente. Por lo tanto, tal y como exige la ITC-BT 40, "los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5%, para la intensidad nominal".

Además, se debe tener en cuenta, según el ITC-BT 06-07 una serie de factores de corrección en función de diferentes criterios referidos al método de instalación de los conductores.

La expresión para determinar la intensidad máxima es la siguiente:

$$I_{max} = \frac{1,25 * I_L}{f_1 * f_2 * f_n} \text{ Ecuación 5}$$

Siendo:

- I_L : intensidad nominal de la línea (A)
- I_{max} : intensidad máxima en el conductor
- f_1, f_2, \dots, f_n : factores de corrección según ITC-BT 06-07 (Ver anexo Memoria de cálculo)

- **Criterio de la caída de tensión**

Debido a la corriente que circula por los cables, además de producirse una pérdida de potencia, también se produce una caída de tensión a lo largo de la línea. En el reglamento de la ITC-BT 40 mencionado anteriormente, se pone de manifiesto que la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5%, para la intensidad nominal".

Para el cálculo de la sección en función de la caída de tensión se utiliza la siguiente expresión:

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V} \text{ Ecuación 6}$$

Siendo:

- L: longitud de la línea (m)
- I: Intensidad nominal de la línea (A)
- ρ : La resistividad del cobre: $\rho=0,01724 \text{ mm}^2\Omega/\text{m}$
- AV: caída de tensión (V)

- **Criterio de la intensidad de cortocircuito:**

Cuando se produce en los cables un cortocircuito o sobreintensidad de corta duración, la temperatura del mismo se eleva, y no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (máximo 5 segundos) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable. Esta temperatura se encuentra especificada en las normas de los cables y suele ser de 160° C para cables con aislamiento termoplásticos y de 250° C para cables con aislamientos termoestables como el utilizado en este proyecto.

En la parte de corriente continua, de producirse un cortocircuito, la intensidad de cortocircuito máxima será la proporcionada por los paneles fotovoltaicos. Esta intensidad es apenas superior a la intensidad nominal de los paneles, y por lo tanto no va a dañar el sistema. Pero para dejar constancia numérica de la escasa relevancia de un cortocircuito en la parte de continua, se va a calcular el criterio de la intensidad de cortocircuito.

La intensidad máxima que puede circular por los conductores se obtiene de la siguiente expresión:

$$S = \frac{I_{CC} * k}{\sqrt{t}} \text{ Ecuación 7}$$

Siendo:

- k = coeficiente dependiente del tipo de conductor, 143 para cobre y aislamiento XLPE y 92 para aluminio y aislamiento XLPE.

- S = sección del conductor en mm².
- t = duración del cortocircuito en segundos.

4.1.2 INTERCONEXIONADO DE LOS MÓDULOS

Antes de comenzar con el cálculo de las secciones del cableado de baja tensión, hay que destacar que existen distintas formas de realizar la interconexión eléctrica de los módulos. En la ilustración 23, en la fila de arriba, los módulos conectan el terminal positivo con el negativo del módulo siguiente, y así sucesivamente hasta llegar al último panel donde el terminal positivo se une a un cable que retorna al inicio. Esta configuración no es la óptima ya que se utiliza muchos metros de cable y se pierde energía, además del coste añadido del cableado.

En la fila de abajo los módulos están conectados a tresbolillo, es decir, el positivo de un módulo se conecta con el negativo del módulo siguiente al contiguo. De esta manera no hay que utilizar el cable de retorno desde el último módulo, permitiendo un gran ahorro tanto económico como energético.

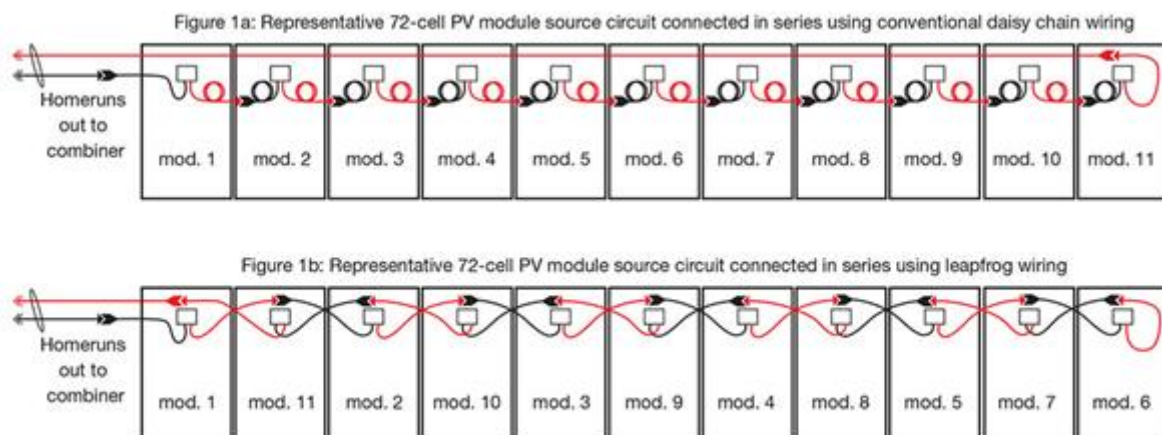


Ilustración 27- Distintas maneras de conectar de los módulos

Para calcular la sección necesaria de los cables primero hay que realizar la distribución de los strings con sus respectivas cajas de conexión tratando de disminuir la cantidad de metros de cable así como la realización de zanjas para enterrar cable.

4.1.3 CONEXIONADO DE LOS MÓDULOS CON LAS CAJAS DE CONEXIÓN

Una vez realizada la interconexión de los módulos, hay que conectar estos con las cajas de conexión. Se tenderá el cable por un tubo guía cuando se transporte dentro de una misma fila de paneles, y cuando sea necesario cruzar hacia otra fila distinta se realizará mediante una zanja tipo I (anexo II).

Uno de los requisitos a cumplir es el de la caída de tensión, por lo tanto hay que tener en consideración que desde la salida en corriente continua desde los paneles hasta en centro de

conexión, la caída de tensión tiene que ser inferior al 1.5%. Puesto que en este apartado solo se estudia el trayecto desde los paneles hasta las cajas de conexión, se tomará el valor de 0.5% como caída de tensión admisible. Los cables también deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador y una intensidad de cortocircuito menor que la soportable por el propio cable. Comprobamos que se cumplen los requisitos:

1. En función de la longitud de cada cable, aplicando la ecuación 5 se obtiene un valor para S, escogiendo dentro de las secciones disponibles la inmediatamente superior. Para esta parte se dispone de cable de tres secciones distintas: 4, 6 y 10 mm².

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V} = \frac{2 * 0,017 * L * 8,88}{0,5/100}$$

2. Se comprueba el criterio de la máxima intensidad admisible para los casos más desfavorables:

❖ 18 cables agrupados, instalados al aire a 45°C:

$$I_{max} = \frac{1,25 * I_L}{f_1 * f_2 * f_3} = \frac{1,25 * 8,88}{0,74} = 15A$$

❖ 16 cables agrupados, enterrados a 1m, dispuestos en 3 filas de 6 cables, en terreno a 30°C y con resistividad térmica 2,5 K. m/W:

$$I_{max} = \frac{1,25 * I_L}{f_1 * f_2 * f_3} = \frac{1,25 * 8,88}{0,97 * 0,42 * 0,96 * 1} = 28,4A$$

Los factores de corrección se pueden comprobar en las ilustraciones del anexo de la memoria de cálculo. Según la tabla de la ilustración 35 del anexo de la memoria descriptiva, que muestra las características de cada sección del cable, la intensidad máxima admisible para la sección de 4 mm² enterrado es de 35A, valor superior al máximo de los anteriores.

3. Por último se comprueba el criterio de la intensidad de cortocircuito, que como se ha mencionado anteriormente, es muy superior a la intensidad producida en los paneles (I_{SC}).

$$I_{CC} = \frac{S * k}{\sqrt{t}} = \frac{4 * 143}{\sqrt{0,1}} = 1808,8A > 9,45A$$

Una vez realizados los cálculos de las secciones necesarias y la cantidad de metros de las mismas, se agrupan por cajas de conexión en la siguiente tabla:

Combiner Box	m cable Cu 4 mm ²	m cable Cu 6 mm ²	m cable Cu 10 mm ²
1.1.01	694	292	0

1.1.02	694	292	0
1.1.03	694	292	0
1.1.04	694	292	0
1.1.05	694	292	0
1.1.06	230	354	456
1.1.07	230	354	456
1.1.08	230	354	456
1.1.09	230	354	708
1.1.10	256	568	0
1.1.11	190	632	230
1.1.12	256	568	234
1.1.13	694	0	0
1.1.14	694	0	0
2.1.01	694	292	0
2.1.02	442	0	0
2.1.03	694	0	0
2.1.04	694	292	0
2.1.05	694	292	0
2.1.06	230	354	456
2.1.07	230	354	456
2.1.08	230	354	456
2.1.09	190	500	228
2.1.10	230	354	456
2.1.11	230	354	456
2.1.12	230	354	456
2.1.13	230	354	456
2.1.14	230	354	456
2.1.15	444	356	790
3.1.01	694	292	0
3.1.02	694	0	0
3.1.03	694	0	0
3.1.04	694	0	0
3.1.05	694	0	0
3.1.06	232	358	1064
3.1.07	232	358	1064
3.1.08	232	358	1064
3.1.09	232	358	1396
3.1.10	190	502	730
3.1.11	440	168	730
3.1.12	230	354	456
3.1.13	230	354	456
3.1.14	230	354	456
4.1.01	470	150	0
4.1.02	636	292	0
4.1.03	694	292	0
4.1.04	84	484	1566
4.1.05	230	354	456
4.1.06	230	354	456

4.1.07	230	354	456
4.1.08	230	354	456
4.1.09	230	354	456
4.1.10	230	354	456
4.1.11	230	354	456
4.1.12	230	354	456
4.1.13	230	354	456
4.1.14	230	354	456
4.1.15	230	354	456

Tabla 21- Secciones cables desde paneles hasta caja de conexión

4.1.4 CONEXIONADO DE LAS CAJAS DE CONEXIÓN CON EL INVERSOR

En las cajas de conexión se unen en paralelo los cables provenientes de los módulos, aumentando de esta manera la intensidad que circula por los mismos, siendo necesario aumentar la sección de los cables en esta parte del recorrido. Para conseguir que la caída de tensión hasta el centro de conexión sea menor al 1,5%, la caída de tensión en este tramo debe ser inferior al 0,8%, y los cables irán enterrados por zanjas.

Se realizan de nuevo las comprobaciones de los distintos criterios:

1. En función de la longitud de cada cable y su intensidad, aplicando la ecuación 5 se obtiene un valor para S, escogiendo dentro de las secciones disponibles la inmediatamente superior. Para este tramo se dispone de cable de tres secciones distintas: 120, 150, 185 y 240 mm².

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V} = \frac{2 * 0,028 * L * I}{1/100}$$

2. Se comprueba el criterio de la máxima intensidad admisible para el caso más desfavorable:

- ❖ 6 cables agrupados, enterrados a 0,7m, separados 0,3m, en terreno a 25°C y con resistividad térmica 2,5 K. m/W:

$$I_{max} = \frac{1,25 * I_L}{f_1 * f_2 * f_3} = \frac{1,25 * 195,16}{0,75} = 325,3A$$

Según la tabla de características del cable RV-K utilizado para baja tensión, la intensidad máxima admisible para el cable de sección 240 mm² es de 336A, por lo tanto será la mayor sección utilizada en este tramo según este criterio.

3. Por último se comprueba el criterio de la intensidad de cortocircuito, que como se ha mencionado anteriormente, es muy superior a la intensidad producida por el conjunto de strings.

$$I_{cc} = \frac{S * k}{\sqrt{t}} = \frac{70 * 92}{\sqrt{0,1}} = 20,37kA > 104A$$

La siguiente tabla muestra las características de los cables que unen las cajas de conexión con el inversor:

Nivel	Nº de Strings	Longitud (m)	Sección (mm ²)	Intensidad Nominal (A)	Tensión (V)	Intensidad Admisible (A)	Caída de Tensión (V)	Caída de Tensión (%)	Pérdida Potencia (W)
1.1.01	20	90	185	177,4	1.116	224,07	2,98	0,42%	528,0
1.1.02	20	38	185	177,4	1.116	224,07	1,26	0,18%	223,0
1.1.03	20	27	185	177,4	1.116	224,07	0,89	0,13%	158,4
1.1.04	20	67	185	177,4	1.116	224,07	2,22	0,31%	393,1
1.1.05	20	119	185	177,4	1.116	224,07	3,94	0,55%	698,2
1.1.06	16	131	150	141,9	1.116	195,00	4,27	0,60%	606,7
1.1.07	16	110	150	141,9	1.116	195,00	3,59	0,50%	509,4
1.1.08	16	88	150	141,9	1.116	195,00	2,87	0,40%	407,5
1.1.09	18	67	185	159,7	1.116	218,25	1,99	0,28%	318,4
1.1.10	18	35	185	159,7	1.116	218,25	1,04	0,15%	166,3
1.1.11	16	24	150	141,9	1.116	195,00	0,78	0,11%	111,1
1.1.12	20	53	185	177,4	1.116	244,44	1,75	0,25%	311,0
1.1.13	16	64	120	141,9	1.116	193,20	2,61	0,37%	370,5
1.1.14	16	53	120	141,9	1.116	193,20	2,16	0,30%	306,8

Tabla 22- Cables inversor 1

Nivel	Nº de Strings	Longitud (m)	Sección (mm ²)	Intensidad Nominal (A)	Tensión (V)	Intensidad Admisible (A)	Caída de Tensión (V)	Caída de Tensión (%)	Pérdida Potencia (W)
2.1.01	20	56	185	177,4	1.116	224,07	1,85	0,26%	328,6
2.1.02	12	24	120	106,5	1.116	177,10	0,73	0,10%	78,2
2.1.03	16	27	150	141,9	1.116	200,20	0,88	0,12%	125,0
2.1.04	20	68	185	177,4	1.116	224,07	2,25	0,32%	399,0
2.1.05	20	120	185	177,4	1.116	224,07	3,97	0,56%	704,1
2.1.06	16	78	120	141,9	1.116	184,00	3,18	0,45%	451,5
2.1.07	16	56	120	141,9	1.116	184,00	2,28	0,32%	324,2
2.1.08	16	35	120	141,9	1.116	184,00	1,43	0,20%	202,6
2.1.09	14	24	120	124,2	1.116	184,00	0,86	0,12%	106,4
2.1.10	16	24	150	141,9	1.116	195,00	0,78	0,11%	111,1
2.1.11	16	45	150	141,9	1.116	195,00	1,47	0,21%	208,4

2.1.12	16	66	150	141,9	1.116	195,00	2,15	0,30%	305,7
2.1.13	16	87	150	141,9	1.116	195,00	2,84	0,40%	402,9
2.1.14	16	109	150	141,9	1.116	195,00	3,56	0,50%	504,8
2.1.15	22	130	240	195,2	1.116	252,00	3,65	0,51%	711,4

Tabla 23- Cables inversor 2

Nivel	Nº de Strings	Longitud (m)	Sección (mm ²)	Intensidad Nominal (A)	Tensión (V)	Intensidad Admisible (A)	Caída de Tensión (V)	Caída de Tensión (%)	Pérdida Potencia (W)
3.1.01	20	68	185	177,4	1.116	224,07	2,25	0,32%	399,0
3.1.02	16	26	150	141,9	1.116	200,20	0,85	0,12%	120,4
3.1.03	16	27	150	141,9	1.116	200,20	0,88	0,12%	125,0
3.1.04	16	68	150	141,9	1.116	200,20	2,22	0,31%	314,9
3.1.05	16	110	150	141,9	1.116	200,20	3,59	0,50%	509,4
3.1.06	20	87	185	177,4	1.116	232,80	2,88	0,40%	510,4
3.1.07	20	66	185	177,4	1.116	232,80	2,18	0,31%	387,2
3.1.08	20	44	185	177,4	1.116	232,80	1,46	0,20%	258,2
3.1.09	22	33	240	195,2	1.116	268,80	0,93	0,13%	180,6
3.1.10	18	23	150	159,7	1.116	200,20	0,84	0,12%	134,8
3.1.11	20	34	185	177,4	1.116	224,07	1,12	0,16%	199,5
3.1.12	16	66	150	141,9	1.116	200,20	2,15	0,30%	305,7
3.1.13	16	87	150	141,9	1.116	200,20	2,84	0,40%	402,9
3.1.14	16	108	150	141,9	1.116	200,20	3,52	0,49%	500,2

Tabla 24- Cables inversor 3

Nivel	Nº de Strings	Longitud (m)	Sección (mm ²)	Intensidad Nominal (A)	Tensión (V)	Intensidad Admisible (A)	Caída de Tensión (V)	Caída de Tensión (%)	Pérdida Potencia (W)
4.1.01	16	24	150	141,9	1.116	189,80	0,78	0,11%	111,1
4.1.02	18	27	185	159,7	1.116	209,52	0,80	0,11%	128,3
4.1.03	20	80	240	177,4	1.116	241,92	2,04	0,29%	361,8
4.1.04	18	140	185	159,7	1.116	212,43	4,17	0,59%	665,3
4.1.05	20	120	240	177,4	1.116	245,28	3,31	0,47%	587,9
4.1.06	16	98	150	141,9	1.116	189,80	3,20	0,45%	453,9
4.1.07	16	77	150	141,9	1.116	189,80	2,51	0,35%	356,6

4.1.08	16	56	150	141,9	1.116	189,80	1,83	0,26%	259,3
4.1.09	16	35	150	141,9	1.116	189,80	1,14	0,16%	162,1
4.1.10	16	29	150	141,9	1.116	187,20	0,95	0,13%	134,3
4.1.11	16	39	150	141,9	1.116	187,20	1,27	0,18%	180,6
4.1.12	16	60	150	141,9	1.116	187,20	1,96	0,27%	277,9
4.1.13	16	81	150	141,9	1.116	187,20	2,64	0,37%	375,1
4.1.14	16	103	150	141,9	1.116	187,20	3,36	0,47%	477,0
4.1.15	16	124	150	141,9	1.116	187,20	4,05	0,57%	574,3

Tabla 25- Cables inversor 4

4.2 CÁLCULOS INSTALACIÓN DE MEDIA TENSIÓN

En este apartado se va a proceder a calcular la sección de los cables de media tensión encargados de unir los centros de transformación, con el centro de conexión, seccionamiento y medida. Estos cables transportan corriente alterna y se tenderán en una línea subterránea como la mostrada en el plano C-04 del anexo II.

Las características de la línea son las siguientes:

- Potencia de la línea: $S = 2500/5000$ kVA
- Potencia de cortocircuito: $S_{cc} = 400$ MVA
- Tiempo de disparo de las protecciones: $t_{cc} = 0,3$ s
- Tensión de la línea: $U = 20$ kV
- Temperatura del terreno: $T_{amb} = 25$ °C
- Resistividad térmica del terreno: $R_T = 2,5$ K·m/W
- Instalación enterrada a 0,9 m
- Agrupación con otro circuito adicional a 0,6 m.
- Cables unipolares Al Voltalene H 12/20 kV (aislamiento XLPE) enterrados bajo tubo

4.2.1 CRITERIOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA SECCIÓN

Para este caso se tienen en cuenta los mismos criterios utilizados en los apartados anteriores:

1. Intensidad máxima admisible del conductor.
2. Caída de tensión.
3. Intensidad térmica al producirse un cortocircuito.

1. CRITERIO INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

La intensidad a la salida del centro de transformación se corresponde con:

$$I_{CT} = \frac{S}{\sqrt{3} * U_n * \cos\varphi} = \frac{2500}{\sqrt{3} * 20 * 0,95} = 75,97A$$

En la planta fotovoltaica existen 4 centros de transformación conectados en serie dos y dos, es decir, al centro de seccionamiento llega una intensidad suma de dos centros de transformación. Por lo tanto el cable hay que dimensionarlo para el doble de intensidad y para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador, dando todo ello como resultado una intensidad de 189,9A.

Según la tabla de características del cable AL RHZ1-OL utilizado para media tensión (ilustración 36), la intensidad máxima admisible para el cable de sección 150 mm² enterrado bajo tubo es de 245A. Este valor se corresponde con unas condiciones específicas distintas a las del proyecto, con lo cual hay que aplicar los factores de corrección debidos a que se encuentra a 0,9m de profundidad, la resistividad del terreno es de 2,5k·m/W y que hay dos ternas en una misma zanja separadas 0,6m:

$$I_{max,cable} = I * f_1 * f_2 * f_3 = 245 * 1,01 * 0,87 * 0,89 = 191,6A$$

Este valor de intensidad es superior al valor de la intensidad máxima que circulará por el cable, por lo tanto la sección de 150 mm² es válida.

2. CRITERIO DE CAÍDA DE TENSIÓN

En función de la longitud de cada cable, su intensidad y su sección, aplicando la ecuación 5 se obtiene un valor para ΔV . Utilizando un cable de aluminio de 150 mm² se produce una caída de tensión:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} = \frac{2500}{\sqrt{3} * 20 * 0,95} = 75,97A$$

$$\Delta V = \sqrt{3} * I * L * (R * L + X * L)$$

CT	Longitud (m)	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)
1	450	20,14	0,10%
2	250	6,22	0,03%
3	300	4,48	0,02%
4	250	3,11	0,02%

Tabla 26- Resumen caídas de tensión

Como se puede observar, la caída de tensión máxima que se produce en la parte de corriente continua es de 1,08 %, y en la parte de corriente alterna es de 0,12 %. Sumando ambos valores, la caída de tensión total es del 1,2%, valor por debajo del 1,5% máximo permitido en el presente proyecto.

3. INTENSIDAD TÉRMICA AL PRODUCIRSE UN CORTOCIRCUITO

Por último se comprueba el criterio de la intensidad de cortocircuito. Para comprobar si la sección de 150 mm² soporta el cortocircuito, primero se calcula la Icc máxima a soportar por la línea a partir de la potencia de cortocircuito de los datos iniciales:

$$I_{CC} = \frac{S_{CC}}{\sqrt{3} * U} = \frac{400}{\sqrt{3} * 20} = 11,55 \text{ kA}$$

Vamos a comprobar si la sección de 150 mm² soportará el cortocircuito máximo previsto con un tiempo de disparo de 0,3 segundos, usando como referencia la tabla 26 de la ITC-LAT 06 del RLAT, en la que se muestran los valores máximos de densidad de corriente en A/mm² en función del tiempo de duración del cortocircuito para conductores de aluminio:

Tipo de aislamiento	$\Delta\theta^*$ (K)	Duración del cortocircuito, t_{cc} , en segundos									
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2	2,5	3,0
PVC:											
sección \leq 300 mm ²	90	240	170	138	107	98	76	62	53	48	43
sección $>$ 300 mm ²	70	215	152	124	96	87	68	55	48	43	49
XLPE, EPR y HEPR	160	298	211	172	133	122	94	77	66	59	54
HEPR U _o /U \leq 18/30 kV	145	281	199	162	126	115	89	73	63	56	51

$\Delta\theta^*$ es la diferencia entre la temperatura de servicio permanente y la temperatura de cortocircuito.

Ilustración 28-Tabla duración cortocircuito en función del tipo de cable

$$I_{CC,150} = 172 * 150 = 25,8 \text{ kA} > 11,55 \text{ kA}$$

Como se puede comprobar la sección de 150 mm² sería capaz de soportar el cortocircuito, pero la tabla anterior esta realizada para el caso más desfavorable, que tiene lugar cuando el cable transporta la máxima intensidad admisible en régimen permanente y por tanto su temperatura es de 90°C.

En el apartado 6.2 de la ITC-LAT 06 del RLAT se especifica que para calcular el cortocircuito máximo teniendo en cuenta la temperatura inicial del conductor, hay que añadir a la fórmula de la intensidad de cortocircuito (ecuación 6), un factor que depende de la temperatura inicial y final del conductor y de la naturaleza del conductor y su aislamiento.

$$I_{CC} = \frac{k * S}{\sqrt{t}} * \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{T_{CC} + \beta}{T_i + \beta}\right)}{\ln\left(\frac{T_{CC} + \beta}{T_s + \beta}\right)}}$$

Donde:

- k = coeficiente dependiente del tipo de conductor, 143 para cobre y aislamiento XLPE y 92 para aluminio y aislamiento XLPE.
- T_{cc}: máxima temperatura de cortocircuito admisible (250 °C para cables de HEPR y XLPE)

- T_i : es la temperatura a la que se inicia el cortocircuito.
- T_s : temperatura máxima del conductor en régimen permanente (105 °C para cables con aislamiento de HEPR y 90 °C para cables con aislamiento de XLPE)
- β : 235 para cobre y 228 para aluminio

Hace falta calcular la temperatura inicial del conductor cuando se produce el cortocircuito:

$$T_i = T_{amb} + (T_s - T_{amb}) * (I/I_{max})^2$$

Donde:

- T_i : temperatura del conductor en régimen permanente (75,97 A)
- T_{amb} : temperatura ambiente de la instalación (25 °C)
- T_s : temperatura máxima que puede soportar el conductor (90°C para XLPE)
- I : intensidad que recorre el conductor (75,97 A)
- $I_{máx}$: intensidad máxima que puede recorrer el conductor en las condiciones de la instalación (191,6 A)

$$T_i = 25 + (90 - 25) * (75,97/191,6)^2 = 35,2^\circ\text{C}$$

Finalmente la intensidad de cortocircuito será:

$$I_{cc} = \frac{92 * 150}{\sqrt{0,3}} * \sqrt{\frac{\ln\left(\frac{250 + 228}{35,2 + 228}\right)}{\ln\left(\frac{250 + 228}{90 + 228}\right)}} = 30,5 \text{ kA}$$

Queda demostrado que al usar la temperatura en régimen permanente, la intensidad de cortocircuito admisible es superior a la de las tablas.

4.2.2 CÁLCULO DE LA SECCIÓN ECONÓMICA Y ECOLÓGICA

Aunque ya se ha calculado la sección mínima que cumple con los criterios de los apartados anteriores, es posible obtener un ahorro económico al utilizar secciones de mayor diámetro que el obtenido por criterios técnicos, al mismo tiempo que reducir las emisiones de CO2.

Suponiendo que la línea está sometida al siguiente patrón de consumo diario, representando la intensidad en función de las horas del día:

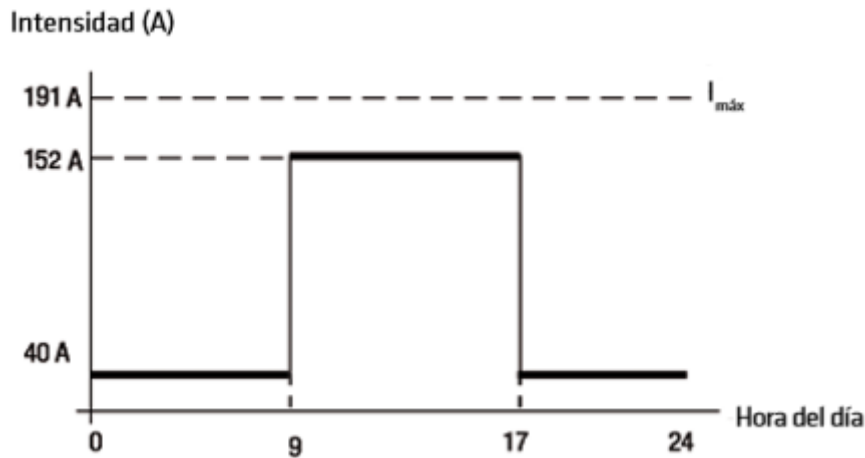


Ilustración 29- Intensidad consumo diario

El primer paso consiste en calcular las pérdidas resistivas que se producen en el cable considerando la temperatura del conductor para obtener la resistencia del cable cuando es recorrido por 152 A o por 40 A.

Cálculo de la resistencia a la temperatura real del conductor para el caso del cable de 150 mm² de aluminio cuando es recorrido por 76 A:

$$R_T = R_{20} * (1 + \alpha * (T - 20))$$

Donde:

- R_T : valor de la resistencia del conductor en Ω /km
- R_{20} : valor de la resistencia del conductor a 20 °C (0,206 Ω /km)
- α : coeficiente de variación de resistencia específica por temperatura del conductor en °C (0,00392 para Cu y 0,00403 para Al)
- T: temperatura real del conductor (°C)

$$R_{76} = 0,206 * (1 + 0,00403 * (35,23 - 20)) = 0,219 \Omega/km$$

Repito la operación para los casos en los que circula a 152 A y 40 A:

$$R_{152} = 0,206 * (1 + 0,00403 * (65,91 - 20)) = 0,244 \Omega/km$$

$$R_{40} = 0,206 * (1 + 0,00403 * (27,83 - 20)) = 0,213 \Omega/km$$

La energía perdida por efecto Joule en el cable de sección 150 mm² será:

$$E_p = 3 * R * I^2 * L * t / 1000$$

$$E_{p,152} = 3 * 0,244 * 152^2 * 0,65 * 8 * 365 / 1000 = 32099,2 \text{ kW} \cdot h$$

$$E_{p,76} = 3 * 0,219 * 76^2 * 0,52 * 8 * 365 / 1000 = 5762,1 \text{ kW.h}$$

$$E_{p,40} = 3 * 0,213 * 40^2 * 1,16 * 16 * 365 / 1000 = 6926,1 \text{ kW.h}$$

Por lo tanto la energía perdida total es de 44787,4 kW.h.

Se realizan los mismos cálculos pero para una sección superior de 240 mm²:

$$I_{max,cable} = I * f_1 * f_2 * f_3 = 320 * 1,01 * 0,87 * 0,89 = 250,3A$$

Con la intensidad máxima permitida por el cable calculamos las temperaturas en cada régimen de intensidad:

$$T_i = 25 + (90 - 25) * \left(\frac{40}{250,3} \right)^2 = 26,66^\circ\text{C}$$

$$T_i = 25 + (90 - 25) * \left(\frac{75,97}{250,3} \right)^2 = 31^\circ\text{C}$$

$$T_i = 25 + (90 - 25) * \left(\frac{152}{250,3} \right)^2 = 49^\circ\text{C}$$

Resistencia a la temperatura real del conductor:

$$R_{40} = 0,206 * (1 + 0,00403 * (27,83 - 20)) = 0,212 \Omega/km$$

$$R_{76} = 0,206 * (1 + 0,00403 * (65,91 - 20)) = 0,215 \Omega/km$$

$$R_{152} = 0,206 * (1 + 0,00403 * (35,23 - 20)) = 0,230 \Omega/km$$

La energía anual perdida en cada tramo tiene un valor de:

$$E_{p,40} = 3 * 0,212 * 40^2 * 1,16 * 16 * 365 / 1000 = 6893,6 \text{ kW.h}$$

$$E_{p,76} = 3 * 0,215 * 76^2 * 0,52 * 8 * 365 / 1000 = 5656,8 \text{ kW.h}$$

$$E_{p,152} = 3 * 0,230 * 152^2 * 0,65 * 8 * 365 / 1000 = 30257,5 \text{ kW.h}$$

Y la energía perdida total es de 42807,9 kW.h.

Una vez tenemos los valores de pérdidas de energía para ambas secciones, podemos realizar las comparaciones económicas y ecológicas.

El ahorro de energía al utilizar un cable de sección superior sería de 1979,5 kWh al año. Multiplicando este valor por el coste medio del kWh, el ahorro económico anual sería de 119 €, y teniendo en cuenta una vida útil de 30 años el total serían 3.570 €.

Pero el precio del metro de cable de mayor sección es más caro (13,17€), y en total son 3.700 € más de inversión, por lo tanto en el global no sale rentable.

Con lo que respecta al ahorro de emisiones de CO₂, se va a realizar la comparación entre los dos cables. Restando la diferencia de peso entre cada cable y multiplicando por la longitud, se obtiene los kilogramos de más utilizados con la sección superior.

$$kg \text{ exceso} = 3 * (1640 - 1260) * 1,16 = 1327,3 \text{ kg}$$

El cable de MT de aluminio supone una emisión de unos 14,144 kg CO₂ por kg de cable fabricado, por lo tanto:

$$CO_2 \text{ producido} = 1327,3 * 14,144 = 18773,4 \text{ kg de } CO_2$$

Durante la vida útil de la planta fotovoltaica se dejarían de perder 59385,6 kW.h, y teniendo en cuenta que la generación de CO₂ media por cada kW.h eléctrico producido en España es de 0,39 kg de CO₂.

$$CO_2 \text{ ahorrado} = 59385,6 * 0,39 = 23160,4 \text{ kg de } CO_2$$

Restando ambos valores se obtiene un ahorro de emisiones de CO₂ a lo largo de la vida útil de la planta de 4387 kg de CO₂.

CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta tanto el posible ahorro económico como el ecológico, la mejor alternativa para este proyecto será utilizar el cable de menor sección, ya que las pérdidas por caída de tensión son muy pequeñas y en el aspecto económico el cable de mayor sección es más caro.

4.3 CÁLCULO DE LAS PUESTAS A TIERRA DEL CENTRO DE INVERSIÓN Y TRANSFORMACIÓN

Como ya se mencionó en el apartado 9.10 de la memoria descriptiva, la resistividad media del terreno es de 300 Ω·m.

4.3.1 Diseño preliminar de la tierra de protección

Los cálculos a realizar en este apartado se basarán en las expresiones y procedimientos fijados en el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, teniendo en cuenta las características del centro de transformación e inversión de esta instalación.

Para un valor de puesta a tierra del centro de 17,16 Ω, la intensidad máxima de defecto a tierra es de 255 amperios y el tiempo de eliminación de la falta es inferior a 0,7 segundos. Los valores de K y n para calcular la tensión máxima de contacto aplicada según MIE-RAT 13 en el tiempo de defecto proporcionado por la compañía (0,7 segundos) son:

- $K = 72$
- $n = 1$

Se conectarán a la puesta a tierra de protección las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero puedan estarlo como consecuencia de un fallo, partes como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de los inversores, la carcasa del transformador, etc

El sistema escogido para la tierra de protección dispone de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/82 del método de cálculo de tierras de UNESA.
- Parámetros característicos:
 - $K_r = 0,0572 \Omega / (\Omega * m)$.
 - $K_p = 0,00345 V / (\Omega * m * A)$.
- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre desnudo de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 ohm. Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación de Baja Tensión protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA., no ocasione en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a 24 Voltios (=37 x 0,650).

4.3.2 Cálculo de la resistencia de la tierra de protección

Par que la red de tierra de protección esté bien dimensionada, los cálculos deben cumplir las siguientes condiciones:

$$I_d > I_N$$

$$R_T * I_d \leq V_{BT}$$

Siendo:

- R_T : resistencia de la puesta a tierra
- I_d : intensidad de defecto
- V_{BT} : tensión de aislamiento en BT
- I_N : intensidad nominal de la protección general

Se calcula la resistencia de puesta a tierra y la tensión de defecto:

$$R_T = k_r * \rho = 0,0572 * 300 = 17,16 \Omega$$

$$U_d = I_d * R_T = 255 * 17,16 = 4375,8 V$$

Con estos valores se comprueba el cumplimiento de la tercera condición:

$$R_T * I_d \leq V_{BT} \rightarrow 4375,8 \leq 9000 V$$

De esta manera se logra evitar que las sobretensiones que aparezcan al producirse un defecto en la parte de alta tensión, deterioren los elementos de baja tensión del centro.

También se comprueba que la intensidad de defecto calculada es superior a 100 amperios, lo cual permitirá que pueda ser detectada por las protecciones normales:

$$I_d > I_N \rightarrow 255 > 100 A$$

4.3.3 Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejillas de ventilación metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá determinada por las características del electrodo y de la resistividad del terreno, por la expresión:

$$U_p = K_p * \rho * I_d = 0,00345 * 300 * 255 = 263,9 V$$

4.3.4 Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación

El piso de los cuatro centros de hormigón estará constituido por un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm, formando una retícula no superior a 0,30 x 0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos preferentemente opuestos a la puesta a tierra de protección. Con esta disposición se consigue que la persona que deba

acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, esta sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior. Este mallazo se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm. de espesor como mínimo.

En el caso de existir en el paramento interior una armadura metálica, ésta estará unida a la estructura metálica del piso. Así pues, no será necesario el cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, puesto que su valor será prácticamente nulo.

No obstante, y según el método de cálculo empleado, la existencia de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, que se obtiene mediante la expresión:

$$U_{p(acc)} = R_t * I_d = U_d = 4375,8 V$$

4.3.5 Cálculo de las tensiones aplicadas

La tensión máxima de contacto aplicada, en voltios, se obtendrá a partir de la tabla correspondiente a valores admisibles de la tensión de contacto aplicada en función de la duración de corriente de falta recogida en el MIE-RAT 13. Para una duración del defecto igual a 0,7 s, se debe interpolar obteniendo el siguiente valor:

$$U_{CA} = \frac{k}{t^n} = \frac{72}{0,7^1} = 102,86 V$$

Para la determinación de los valores máximos admisibles de la tensión de paso en el exterior, y en el acceso a los centros, así como la tensión de contacto, emplearemos las siguientes expresiones:

$$U_{p,ext} = 10 * U_{CA} * \left(1 + \frac{2 * R_{a1} + 6 * \rho}{Z_B}\right) = 10 * 102,86 * \left(1 + \frac{2 * 2000 + 6 * 300}{1000}\right) = 6994,5 V$$

$$U_{p,max(acc)} = 10 * U_{CA} * \left(1 + \frac{3 * \rho + 3 * \rho_h}{Z_B}\right) = 10 * 102,86 * \left(1 + \frac{3 * 300 + 3 * 3000}{1000}\right) = 11211,7 V$$

Siendo:

- ρ_h : resistividad del hormigón ($\Omega \cdot m$)
- Z_B : impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1000 Ω .
- R_{a1} : resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2000 Ω .

Así pues, comprobamos que los valores calculados son inferiores a los máximos admisibles:

$$U_p \leq U_{p,ext} \rightarrow 263,9 \leq 6994,5 V$$

$$U_{p,acc} \leq U_{p,max(acc)} \rightarrow 4375,8 \leq 11211,7 V$$

4.3.6 Investigación de tensiones transferibles al exterior

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio previo para su reducción o eliminación.

No obstante, con el objeto de garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia de separación mínima $D_{mín}$, entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio, determinada por la expresión:

$$D_{min} = \frac{\rho * I_d}{2000 * \pi} = \frac{300 * 255}{2000 * \pi} = 12,18m$$

Como se puede observar en la expresión anterior, es necesario separar la tierra de protección de la tierra de servicio al menos una distancia igual a 12,2 metros.

4.3.7 Diseño preliminar de la tierra de servicio

Se conectará a este sistema el neutro del transformador.

Las características de las picas serán las mismas que las indicadas para la tierra de protección. La configuración escogida se describe a continuación:

- Identificación: código 5/82 del método de cálculo de tierras de UNESA.
- Parámetros característicos:
 - $K_r = 0,0572 \Omega / (\Omega * m)$.
 - $K_p = 0,00345 V / (\Omega * m * A)$.
- Descripción:

Estará constituida por 6 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 15 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 ohm. Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación de Baja Tensión protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA., no ocasione en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a 24 Voltios.

Existirá una separación mínima entre las picas de la tierra de protección y las picas de la tierra de servicio a fin de evitar la posible transferencia de tensiones elevadas a la red de Baja Tensión. Dicha separación está calculada en el apartado anterior.

4.3.8 Cálculo de la resistencia de puesta a tierra del servicio

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de servicio de los centros de inversores, se deben cumplir las siguientes condiciones:

$$R_T < 37 \Omega$$

$$R_T * I_N < 24 V$$

- Resistencia del sistema de puesta a tierra, RT:

$$R_T = K_r * \rho = 0,0572 * 300 = 17,16 \Omega$$

Como se puede observar, se cumple la primera condición:

$$R_T \leq 37 \rightarrow 17,16 \leq 37 \Omega$$

- Sensibilidad del interruptor diferencial, In:

Suponiendo un interruptor diferencial con una sensibilidad de 300 mA, se comprueba el cumplimiento de la segunda condición:

$$R_T * I_N = 17,16 * 0,3 = 5,15 < 24 V$$

4.4 CÁLCULO DE LAS PUESTAS A TIERRA DEL CENTRO DE PROTECCIÓN Y MEDIDA

Como ya se mencionó en el apartado 9.10 de la memoria descriptiva, la resistividad media del terreno es de 300 Ω .

4.4.1 Diseño preliminar de la tierra de protección

Los cálculos a realizar en este apartado se basarán en las expresiones y procedimientos fijados en el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, teniendo en cuenta las características del centro de transformación e inversión de esta instalación.

Los valores de K y n para calcular la tensión máxima de contacto aplicada según MIE-RAT 13 en el tiempo de defecto proporcionado por la compañía (1 segundo) son:

- $K = 78,5$
- $n = 0,18$

Se conectarán a la puesta a tierra de protección las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero puedan estarlo como consecuencia de un fallo, partes como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de los inversores, la carcasa del transformador, etc

El sistema escogido para la tierra de protección dispone de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/32 del método de cálculo de tierras de UNESA.
- Parámetros característicos:
 - $K_r = 0,105 \Omega / (\Omega * m)$.
 - $K_p = 0,0252 V / (\Omega * m * A)$.
- Descripción:

Estará constituida por 3 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 6 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre desnudo de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 ohm. Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación de Baja Tensión protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA., no ocasione en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a 24 Voltios (=37 x 0,650).

4.4.2 Cálculo de la resistencia de la tierra de protección

Par que la red de tierra de protección esté bien dimensionada, los cálculos deben cumplir las siguientes condiciones:

$$I_d > I_N$$

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_n + R_T)^2 * X_n^2}}$$

$$U_d = R_T * I_d \leq V_{BT}$$

Siendo:

- R_T : resistencia de la puesta a tierra
- I_d : intensidad de defecto
- V_{BT} : tensión de aislamiento en BT
- I_N : intensidad nominal de la protección general
- U : tensión de la red MT
- R_n y X_n : impedancia del neutro del transformador MT

Se calcula la resistencia de puesta a tierra, la intensidad de defecto y la tensión de defecto:

$$R_T = k_r * \rho = 0,105 * 300 = 31,5 \Omega$$

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} * \sqrt{(R_n + R_T)^2 + X_n^2}} = \frac{20000}{\sqrt{3} * \sqrt{(40 + 31,5)^2 + 0^2}} = 161,5 A$$

$$U_d = I_d * R_T = 161,5 * 31,5 = 5087,3 V$$

Con estos valores se comprueba el cumplimiento de la tercera condición:

$$R_T * I_d \leq V_{BT} \rightarrow 5087,3 \leq 9000 V$$

De esta manera se logra evitar que las sobretensiones que aparezcan al producirse un defecto en la parte de alta tensión, deterioren los elementos de baja tensión del centro.

También se comprueba que la intensidad de defecto calculada es superior a 100 amperios, lo cual permitirá que pueda ser detectada por las protecciones normales:

$$I_d > I_N \rightarrow 161,5 > 100 A$$

4.4.3 Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejillas de ventilación metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá determinada por las características del electrodo y de la resistividad del terreno, por la expresión:

$$U_p = K_p * \rho * I_d = 0,0252 * 300 * 161,5 = 1220,94 V$$

4.4.4 Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación

El piso de los cuatro centros de hormigón estará constituido por un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm, formando una retícula no superior a 0,30 x 0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos preferentemente opuestos a la puesta a tierra de protección. Con esta disposición se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, esta sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior. Este mallazo se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm. de espesor como mínimo.

En el caso de existir en el paramento interior una armadura metálica, ésta estará unida a la estructura metálica del piso. Así pues, no será necesario el cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, puesto que su valor será prácticamente nulo.

No obstante, y según el método de cálculo empleado, la existencia de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, que se obtiene mediante la expresión:

$$U_{p(acc)} = U_d = R_t * I_d = 31,5 * 161,5 = 5087,3 V$$

4.4.5 Cálculo de las tensiones aplicadas

La tensión máxima de contacto aplicada, en voltios, se obtendrá a partir de la tabla correspondiente a valores admisibles de la tensión de contacto aplicada en función de la duración de corriente de falta recogida en el MIE-RAT 13. Para una duración del defecto igual a 0,7 s, se debe interpolar obteniendo el siguiente valor:

$$U_{CA} = \frac{k}{t^n} = \frac{78,5}{1^{0,18}} = 78,5 V$$

Para la determinación de los valores máximos admisibles de la tensión de paso en el exterior, y en el acceso a los centros, así como la tensión de contacto, emplearemos las siguientes expresiones:

$$U_{p,ext} = 10 * U_{CA} * \left(1 + \frac{2 * R_{a1} + 6 * \rho}{Z_B}\right) = 10 * 78,5 * \left(1 + \frac{2 * 2000 + 6 * 300}{1000}\right) = 5338 V$$

$$U_{p,max(acc)} = 10 * U_{CA} * \left(1 + \frac{3 * \rho + 3 * \rho_h}{Z_B}\right) = 10 * 78,5 * \left(1 + \frac{3 * 300 + 3 * 3000}{1000}\right) = 8556,5 V$$

Siendo:

- ρ_h : resistividad del hormigón ($\Omega \cdot m$)

- Z_B : impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1000Ω .
- R_{a1} : resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2000Ω .

Así pues, comprobamos que los valores calculados son inferiores a los máximos admisibles:

$$U_p \leq U_{p,ext} \rightarrow 1220,94 \leq 5338 V$$

$$U_{p,acc} \leq U_{p,max(acc)} \rightarrow 5087,3 \leq 8556,5 V$$

4.4.6 Investigación de tensiones transferibles al exterior

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio previo para su reducción o eliminación.

No obstante, con el objeto de garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia de separación mínima $D_{mín}$, entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio, determinada por la expresión:

$$D_{min} = \frac{\rho * I_d}{2000 * \pi} = \frac{300 * 161,5}{2000 * \pi} = 7,71m$$

Como se puede observar en la expresión anterior, es necesario separar la tierra de protección de la tierra de servicio al menos una distancia igual a 7,71 metros.

4.4.7 Diseño preliminar de la tierra de servicio

Se conectará a este sistema el neutro del transformador de SSAA localizado en el centro de conexión. La configuración de puesta a tierra de los SSAA va a consistir en un sistema TN-S. Los conductores de las fases junto al conductor de neutro se harán pasar por el toroidal del interruptor diferencial. Ante un defecto, la intensidad retornará por el conductor CP y si la intensidad de defecto es superior a la sensibilidad de dicho interruptor, este actuará.

Las características de las picas serán las mismas que las indicadas para la tierra de protección. El sistema escogido para la tierra de servicio dispone de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/32 del método de cálculo de tierras de UNESA.
- Parámetros característicos:
 - $K_r = 0,105 \Omega / (\Omega * m)$.
 - $K_p = 0,0252 V / (\Omega * m * A)$.
- Descripción:

Estará constituida por 3 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 6 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 2.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 3.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 6 m, dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

El valor de la resistencia de puesta a tierra de este electrodo deberá ser inferior a 37 ohm. Con este criterio se consigue que un defecto a tierra en una instalación de Baja Tensión protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de sensibilidad 650 mA., no ocasione en el electrodo de puesta a tierra una tensión superior a 24 Voltios.

Existirá una separación mínima entre las picas de la tierra de protección y las picas de la tierra de servicio a fin de evitar la posible transferencia de tensiones elevadas a la red de Baja Tensión. Dicha separación está calculada en el apartado anterior.

4.4.8 Cálculo de la resistencia de puesta a tierra del servicio

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de servicio de los centros de inversores, se deben cumplir las siguientes condiciones:

$$R_T < 37 \Omega$$

$$R_T * I_N < 24 V$$

- Resistencia del sistema de puesta a tierra, RT:

$$R_T = K_r * \rho = 0,105 * 300 = 31,5 \Omega$$

Como se puede observar, se cumple la primera condición:

$$R_T \leq 37 \rightarrow 31,5 \leq 37 \Omega$$

- Sensibilidad del interruptor diferencial, In:

Suponiendo un interruptor diferencial con una sensibilidad de 300 mA, se comprueba el cumplimiento de la segunda condición:

$$R_T * I_N = 31,5 * 0,3 = 9,45 < 24 V$$

ASPECTOS ECONÓMICOS

1. INTRODUCCIÓN

Como en todo proyecto, la parte principal es la económica, puesto que si esta no es viable el proyecto no se puede realizar. Por lo tanto se va a comprobar la viabilidad económica del presente proyecto con el fin de garantizar la prosperidad del mismo.

2. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

PRESUPUESTO INST. SOLAR FOTOVOLTAICA "Prado de las Lunas - 1"	
CAPÍTULO 1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS (ESTRUCTURA SEGUIDORA, MÓDULOS, ESTRUCTURA)	3.767.440,00 €
CAPÍTULO 2. INVERSOR Y CENTRO DE TRANSFORMACIÓN	906.400,00 €
CAPÍTULO 3. OBRA CIVIL	563.714,56 €
CAPÍTULO 4. CENTRO DE CONEXIÓN (CC)	58.174,60 €
CAPÍTULO 5. INSTALACIÓN DE AT DENTRO DE LA PLANTA	19.897,70 €
CAPÍTULO 6. INSTALACIÓN EVACUACIÓN BAJA TENSIÓN	102.183,16 €
CAPÍTULO 7. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	13.717,56 €
CAPÍTULO 8. INSTALACIÓN DE SEGURIDAD	58.880,00 €
CAPÍTULO 9. CORRECCIONES MEDIOAMBIENTALES	58.678,25 €
CAPÍTULO 10. SEGURIDAD Y SALUD	25.529,24 €
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	5.574.615,07 €
21% IVA	1.170.669,16 €
13% Gastos Generales	724.669,96 €
6% Beneficio Industrial	334.476,90 €
SUMA DE G.G. Y B.I.	1.059.176,86 €
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	7.804.461,10 €

Tabla 27- Resumen presupuesto

3. PRESUPUESTO Y MEDICIONES

		Cantidad	Precio unidad	ImpPres
1	CAPÍTULO 1. MODULOS FOTOVOLTAICOS (ESTRUCTURA SEGUIDORA, SOPORTE, MÓDULOS)			3.767.440,00
1.1	MODULO FOTOVOLTAICO	30.240	93,65 €	2.831.976,00 €
	Modulo Fotovoltaico marca Canadian Solar modelo CS6X-330P, de 330Wp de potencia pico. Incluido transporte a pie de obra y colocación sobre estructura.			
1.2	SOPORTE	540	1.200,00 €	604.800,00 €
	Kit de estructura para 30x2 paneles de dimensiones 1.92x1 m en posición horizontal. Incluye guías longitudinales, accesorios de unión y fijación, y tornillería.			
1.3	STRING COMBINER BOX	58	358,00 €	20.764,00 €
	Cuadro de conexionado en DC, para 24 canales de entrada de doble polaridad protegidos con fusibles gPV 10x85 mm, y seccionador de corte en carga de 350A, modelo Ingecon StringBox 240.			
1.4	SEGUIDOR SOLAR	269	1.100,00 €	295.900,00 €
	Seguidor solar para soportes hasta 2x42 m SOLTEC SF UTILITY			
1.5	POWER PLANT CONTROLLER	1	14.000,00 €	14.000,00 €
2	CAPÍTULO 2. INVERSOR Y CENTRO DE TRANSFORMACIÓN			906.400,00 €
2.1	EDIFICIO INVERSOR + SKID MV OUTDOOR 2800kVA	4	226.600,00 €	906.400,00 €
	Inversor Freesun HEC 2500kVA FS3001CH15 1500V			
	Cuadro de Conexión y Protección DC 1500V (FSDK15)			
	Skid MT (Transformador 2800kVA, celdas protección)			
3	CAPÍTULO 3. OBRA CIVIL			563.714,56 €
3.1	OBRA CIVIL DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	1		220.184,20 €
	ZANJA TIPO I, para Baja Tensión y servicios auxiliares hasta 18 circuitos DC	1.800	65,00 €	117.000,00
	CIRCUITOS DE SALIDA DE MÓDULOS A CAJAS DE NIVEL 1 (m) Dimensión 1,3x1,35 m (ancho x profundo): Excavación / cinta señalizadora / compactación. 0,5 m de arena.			
	ZANJA TIPO II, para Baja Tensión y servicios auxiliares hasta 8 circuitos DC	1.432	29,00 €	41.528,00
	CIRCUITOS DE SALIDA DE LAS CAJAS DE NIVEL 1 A INVERSOR (m) Dimensión 1,7x,0,85 m (ancho x profundo): Excavación / cinta señalizadora / compactación. 0,25 m de arena.			
	ZANJA TIPO III, para Baja Tensión y servicios auxiliares, hasta 8 circuitos DC entubados	31	42,00 €	1.302,00
	CIRCUITOS DE SALIDA DE LAS CAJAS DE NIVEL 1 A INVERSOR (m) Dimensión 1,7x,0,85 m (ancho x profundo): Excavación / cinta señalizadora / compactación. 0,25 m de hormigón. Incluyendo hasta 8 tubos de hasta 200 según cableado.			
	ZANJA TIPO I para un circuito LSAT	480	46,00 €	22.080,00
	CIRCUITOS DE SALIDA DE CELDAS DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN A CSECC (m) * Dimensión 0,6 x 1,1 m (ancho x profundo): Excavación / cinta señalizadora / compactación. 0,4 m relleno de hormigón, incluyendo 2 tubos de 160 mm.			
	ZANJA TIPO II para circuitos LSAT	623	50,40 €	31.399,20

	CIRCUITOS DE SALIDA DE CELDAS DE CENTROS DE TRANSFORMACIÓN A CCC (m) * Dimensión 1,0x1,1 m (ancho x profundo): Excavación / cinta señalizadora / compactación. 0.4 m relleno de hormigón, incluyendo 2 tubos de 160 mm.			
	ARQUETA REGISTRABLE PREF.HM 40x40x75cm	50	137,50 €	6.875,00 €
	Arqueta prefabricada registrable de hormigón en masa con refuerzo de zuncho perimetral en la parte superior de 40x40x75 cm.			
3.2	OBRA CIVIL PARA POWER STATIONS	4	780,00 €	3.120,00 €
	Obra civil necesaria para la instalación de los Power Stations, sobre pilares metálicos, incluyendo los materiales, incluso medios mecánicos y mano de obra.			
3.3	OBRA CIVIL PARA CENTRO DE CONEXIÓN	1	940,00 €	940,00 €
	Obra civil necesaria para la instalación del CC, incluyendo excavación, relleno de arena y losa de hormigón incluso medios mecánicos y mano de obra.			
3.4	CERRAMIENTO	1.838	6,72 €	12.351,36 €
	Valla de 2 m. de altura para limitar el paso de grandes mamíferos, realizada con tela metálica anudada galvanizada de trama 200x20x15/100 y postes de tubo de acero galvanizado de 48 mm. de diámetro, p.p. de postes de esquina, jabalcones, tornapuntas, tensores, grupillas y accesorios, montada i/replanteo y recibido de postes con hormigón.			
3.5	PUERTA 4,00x2,00 40/14 STD	1	1.249,00 €	1.249,00 €
	Puerta de 2 hojas de 4,00x2,00 m. para cerramiento exterior, con bastidor de tubo de acero laminado en frío de 40x40 mm. y malla S/T galvanizada en caliente 40/14 STD, i/herrajes de colgar y seguridad, elaborada en taller, ajuste y montaje en obra.			
3.6	RESTO OBRA CIVIL	1	325.870,00 €	325.870,00 €
	Incluye realización de caminos, explanación, desmonte, relleno y retirada de tierra vegetal			
4	CAPÍTULO 4. CENTRO DE CONEXIÓN (CC)	1		58.174,60 €
4.1	CENTRO DE CONEXIÓN	1		58.174,60 €
	CASETA PREFABRICADA CC 9600X2620	1	14.845,32 €	14.845,32 €
	Caseta prefabricada para contener un transformador, de dimensiones exteriores (largo x ancho x alto) 9600x2620x3045 mm., formado por: envolvente, puertas y rejillas. Pintado con pintura acrílica rugosa de color blanco en las paredes y marrón en techos, puertas y rejillas. Incluso elementos de protección y señalización como: banquillo aislante, guantes de protección, señal triangular distintiva de riesgo eléctrico en el transformador y en la puerta de acceso al edificio, cartel con instrucciones de primeros auxilios y cartel de las cinco reglas de oro.			
	MÓDULO LÍNEA EN SF6	4	2.403,01 €	9.612,04 €
	MÓDULO PROT. CON I. AUTOMAT MOTOR	1	13.173,71 €	13.173,71 €
	MÓDULO MEDIDA 3 TRANSF	1	5.139,34 €	5.139,34 €
	UD. MÓDULO PROT TRANSF SF6	1	3.188,78 €	3.188,78 €
	UD. TRANSF ACEITE MT/BT 50kVA	1	5.325,23 €	5.325,23 €
	UD ARMARIO DE MEDIDA A.T. COMPLETO (Tarificador+modem)	1	1.701,16 €	1.701,16 €
	UD. CONEXIÓN ARM MEDIDA-MÓD CONTAD	1	93,52 €	93,52 €
	m RZ1-k 0,6/1kV 3 (1x35)+1x25 mm2 Cu GRAPEADA	10	26,28 €	262,80 €
	ud CONJUNTO MEDIDA IND B.T.	1	2.549,24 €	2.549,24 €
	ud. CUADRO PPAL SSAA	1	1.953,46 €	1.953,46 €
	ud. VARIOS	1	330,00 €	330,00 €
5	CAPÍTULO 5. INSTALACIÓN DE AT DENTRO DE LA	1		19.897,70 €

PLANTA				
5.1	m LÍNEA M.T. 12/20kV RHZ1 3x1x150 Al	1.250	10,21 €	12.762,50 €
5.2	ud TERMINAL ENCHUF. 12/20kV p/Al. (150) mm ²	36	198,20 €	7.135,20 €
6	CAPÍTULO 6. INSTALACIÓN EVACUACIÓN BAJA TENSIÓN	1		224.565,04 €
6.1	m LÍNEA COBRE 1x4 RZ1-K	22.304	0,56 €	12.490,24 €
6.2	m LÍNEA COBRE 1x6 RZ1-K	17.776	0,73 €	12.976,48 €
6.3	m LÍNEA COBRE 1x10 RZ1-K	21.204	1,16 €	24.596,64 €
6.4	m LÍNEA AL 1x120 mm ² RZ1-K	668	3,40 €	2.271,20 €
6.5	m LÍNEA AL 1x150 mm ² RZ1-K	3.904	3,70 €	14.444,80 €
6.6	m LÍNEA AL 1x185 mm ² RZ1-K	2.412	4,00 €	9.648,00 €
6.7	m LÍNEA AL 1x240 mm ² RZ1-K	746	4,30 €	3.207,80 €
6.8	PUESTA A TIERRA	2.750	6,00 €	16.500,00 €
6.9	CONECTORES MULTICONTACT	2.016	3,00 €	6.048,00 €
7	CAPÍTULO 7. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN			13.717,56 €
7.1	Sistema de monitorización de la planta	1.00	12,820.00 €	12.820,00 €
7.2	ud ESTACIÓN METEOROLÓGICA	1.00	897.56 €	897,56 €
8	CAPÍTULO 8. INSTALACIÓN DE SEGURIDAD			58.880,00 €
8.1	INTRUSIÓN			26.402,00 €
	Sistema de intrusión en planta fotovoltaica	1.00	20,854.00 €	26.402,00 €
8.2	CCTV	1.00		32.478,00 €
	Sistema de Control por Videovigilancia CCTV	1.00	32,478.00 €	32.478,00 €
9	CAPÍTULO 8. CORRECCIONES MEDIOAMBIENTALES			58.678,25 €
	Correcciones medioambientales en planta fotovoltaica	1.00	58,678.25 €	58.678,25 €
10	CAPÍTULO 9. SEGURIDAD Y SALUD	1.00		25.529,24 €
10.1	INSTALACIONES DE BIENESTAR	1.00	7,107.37 €	7.107,37 €
10.2	SEÑALIZACIÓN	1.00	6,762.44 €	6.762,44 €
10.3	PROTECCIONES COLECTIVAS	1.00	1,471.75 €	1.471,75 €
10.4	EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	1.00	3,032.64 €	3.032,64 €
10.5	MANO DE OBRA SEGURIDAD	1.00	7,155.04 €	7.155,04 €
	TOTAL PRESUPUESTO			5.574.615,07 €
	13% Gastos Generales			724.699,96 €
	6% Beneficio Industrial			334.476,90 €
	SUMA DE G.G. Y B.I.			1.059.176,86 €
	21% IVA			1.170.669,16 €
	TOTAL PRESUPUESTO GENERAL			7.804.461,10 €

Tabla 28- Presupuesto detallado

4. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Para realizar el análisis económico es necesario tener en cuenta numerosas variables. La más importante es realizar la partida del presupuesto económico de la planta, para después pasar a calcular los ingresos y gastos anuales.

4.1 PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN

El presupuesto total de la instalación asciende a **7.804.461,10 €**.

En el siguiente gráfico se puede observar la distribución del precio en porcentaje, de las distintas partidas que forman el presupuesto:

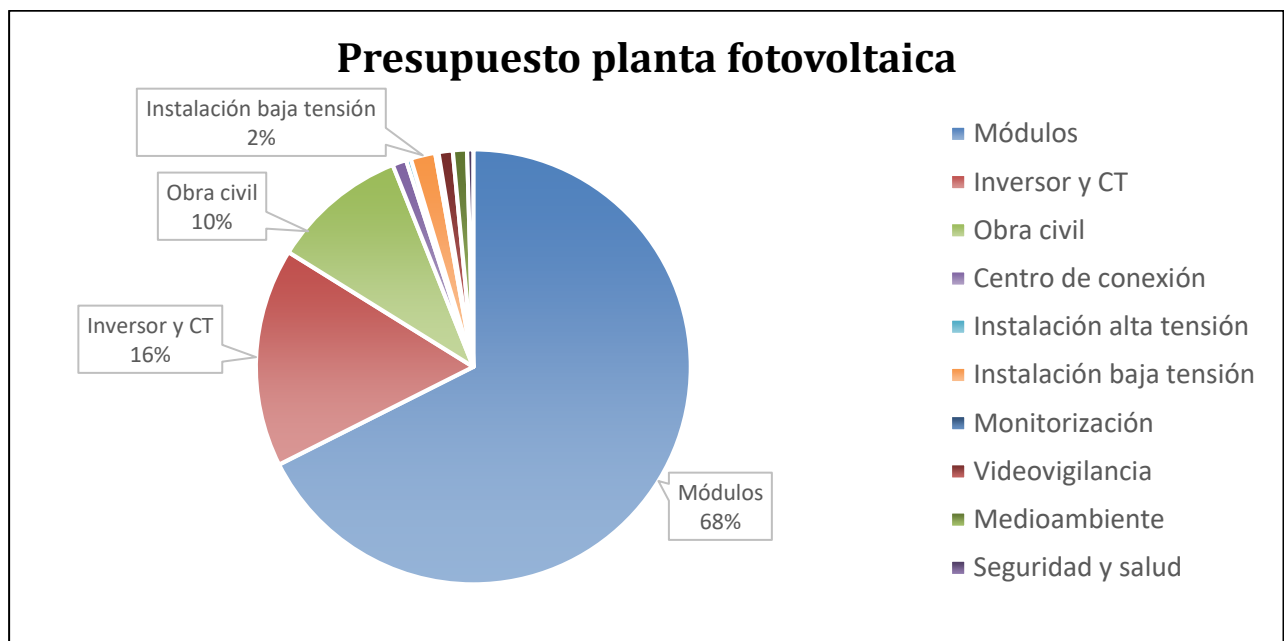


Ilustración 30- Gráfico circular resumen presupuesto

En este tipo de instalaciones, tal y como se observa en la gráfica, el mayor gasto de inversión recae sobre los módulos fotovoltaicos. Actualmente, debido a la reducción en el precio de los módulos, representan un porcentaje inferior comparado con hace una década.

El segundo mayor coste respecto al total de la inversión recae sobre los inversores y demás componentes instalados en las envolventes de hormigón, sin embargo este sector no ha tenido un descenso de precios comparable al de los paneles.

4.2 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA ESTIMADA

Para el primer año de producción, la energía eléctrica estimada es de 20039 MWh/año. En años posteriores esta energía se verá disminuida por la pérdida de rendimiento de los paneles fotovoltaicos.

4.3 INGRESOS

Los ingresos de la instalación se obtienen por la venta de la energía eléctrica generada, es decir, es función de la energía diaria producida y del precio de venta de la energía ese día.

4.3.1 Ingresos por venta de energía eléctrica

Para calcular los ingresos es necesario conocer el precio de venta de la energía eléctrica. Para ello se ha obtenido la información de los precios de venta de la energía eléctrica, durante las horas de funcionamiento de la planta fotovoltaica (7:00-18:00), de los últimos 12 meses. Después teniendo en cuenta la producción estimada para cada mes del año, se obtienen los ingresos esperados para cada mes. Por último se considera una vida útil de la planta de 30 años, un incremento del IPC del 2% anual y una degradación de los paneles del 0,4% anual durante los primeros 20 años y un 2% anual durante los 10 años siguientes.

Año	€/MWh	IPC	Producción estimada	Pérdida eficiencia	Ingresos
2020	58,94 €	2%	20039	0,4%	1.176.114,59 €
2021	60,11 €	2%	19958,8	0,4%	1.194.838,33 €
2022	61,32 €	2%	19879,0	0,4%	1.218.902,62 €
2023	62,54 €	2%	19799,5	0,4%	1.238.307,55 €
2024	63,79 €	2%	19720,3	0,4%	1.258.021,40 €
2025	65,07 €	2%	19641,4	0,4%	1.278.049,10 €
2026	66,37 €	2%	19562,8	0,4%	1.298.395,65 €
2027	67,70 €	2%	19484,6	0,4%	1.319.066,10 €
2028	69,05 €	2%	19406,7	0,4%	1.340.065,64 €
2029	70,43 €	2%	19329,0	0,4%	1.361.399,48 €
2030	71,84 €	2%	19251,7	0,4%	1.383.072,96 €
2031	73,28 €	2%	19174,7	0,4%	1.405.091,48 €
2032	74,74 €	2%	19098,0	0,4%	1.427.460,54 €
2033	76,24 €	2%	19021,6	0,4%	1.450.185,71 €
2034	77,76 €	2%	18945,5	0,4%	1.473.272,67 €
2035	79,32 €	2%	18869,7	0,4%	1.496.727,17 €
2036	80,91 €	2%	18794,3	0,4%	1.520.555,06 €
2037	82,52 €	2%	18719,1	0,4%	1.544.762,30 €
2038	84,17 €	2%	18644,2	0,4%	1.569.354,92 €
2039	85,86 €	2%	18569,6	0,4%	1.594.339,05 €
2040	87,57 €	2%	18198,2	2%	1.593.701,31 €
2041	89,33 €	2%	17834,3	2%	1.593.063,83 €
2042	91,11 €	2%	17477,6	2%	1.592.426,61 €
2043	92,93 €	2%	17128,0	2%	1.591.789,64 €
2044	94,79 €	2%	16785,5	2%	1.591.152,92 €
2045	96,69 €	2%	16449,8	2%	1.590.516,46 €
2046	98,62 €	2%	16120,8	2%	1.589.880,25 €
2047	100,60 €	2%	15798,4	2%	1.589.244,30 €
2048	102,61 €	2%	15482,4	2%	1.588.608,60 €

2049	104,66 €	2%	15172,7	2%	1.587.973,16 €
TOTAL					43.456.339,39 €

Tabla 29- Ingresos venta electricidad

(*) El precio de venta que aparece en la tabla es la media anual, pero los ingresos están calculados multiplicando el precio de venta mensual por la energía generada cada mes.

4.4 GASTOS

Los principales gastos de la planta son los siguientes:

- Intereses: Se ha solicitado un préstamo de 7.500.000€ a 15 años con un 3% de intereses.
- Seguro: Se ha contratado con la compañía ALLIANZ un seguro a todo riesgo con una prima anual de 6.000€.
- Vigilancia: Se estima un costo anual de 1.500€ para la realización de esta labor con la empresa PROSEGUR.
- Mantenimiento: Se estima que representa un 5% de los ingresos anuales.
- Alquiler terreno: Se llega a un acuerdo con los propietarios de un 10% de los ingresos.
- Gastos varios: Partida para cubrir gastos del personal y otras actividades.

Año	Intereses	Seguro	Terreno	Vigilancia	Mantenimiento	Gastos varios	Total
2020	628.249,35 €	6.000,00 €	117.611,46 €	1.500,00 €	58.805,73 €	5.000,00 €	855.579,15 €
2021	628.249,35 €	6.000,00 €	119.483,83 €	1.500,00 €	59.741,92 €	5.000,00 €	858.977,51 €
2022	628.249,35 €	6.000,00 €	121.890,26 €	1.500,00 €	60.945,13 €	5.000,00 €	863.345,18 €
2023	628.249,35 €	6.000,00 €	123.830,75 €	1.500,00 €	61.915,38 €	5.000,00 €	866.867,17 €
2024	628.249,35 €	6.000,00 €	125.802,14 €	1.500,00 €	62.901,07 €	5.000,00 €	870.445,23 €
2025	628.249,35 €	6.000,00 €	127.804,91 €	1.500,00 €	63.902,46 €	5.000,00 €	874.080,26 €
2026	628.249,35 €	6.000,00 €	129.839,56 €	1.500,00 €	64.919,78 €	5.000,00 €	877.773,16 €
2027	628.249,35 €	6.000,00 €	131.906,61 €	1.500,00 €	65.953,31 €	5.000,00 €	881.524,85 €
2028	628.249,35 €	6.000,00 €	134.006,56 €	1.500,00 €	67.003,28 €	5.000,00 €	885.336,26 €
2029	628.249,35 €	6.000,00 €	136.139,95 €	1.500,00 €	68.069,97 €	5.000,00 €	889.208,36 €
2030	628.249,35 €	6.000,00 €	138.307,30 €	1.500,00 €	69.153,65 €	5.000,00 €	893.142,09 €
2031	628.249,35 €	6.000,00 €	140.509,15 €	1.500,00 €	70.254,57 €	5.000,00 €	897.138,45 €
2032	628.249,35 €	6.000,00 €	142.746,05 €	1.500,00 €	71.373,03 €	5.000,00 €	901.198,44 €
2033	628.249,35 €	6.000,00 €	145.018,57 €	1.500,00 €	72.509,29 €	5.000,00 €	905.323,06 €
2034	628.249,35 €	6.000,00 €	147.327,27 €	1.500,00 €	73.663,63 €	5.000,00 €	909.513,34 €
2035	-	6.000,00 €	149.672,72 €	1.500,00 €	74.836,36 €	5.000,00 €	285.520,98 €
2036	-	6.000,00 €	152.055,51 €	1.500,00 €	76.027,75 €	5.000,00 €	289.845,74 €
2037	-	6.000,00 €	154.476,23 €	1.500,00 €	77.238,12 €	5.000,00 €	294.239,36 €

2038	-	6.000,00 €	156.935,49 €	1.500,00 €	78.467,75 €	5.000,00 €	298.702,92 €
2039	-	6.000,00 €	159.433,90 €	1.500,00 €	79.716,95 €	5.000,00 €	303.237,54 €
2040	-	6.000,00 €	159.370,13 €	1.500,00 €	79.685,07 €	5.000,00 €	303.121,79 €
2041	-	6.000,00 €	159.306,38 €	1.500,00 €	79.653,19 €	5.000,00 €	303.006,09 €
2042	-	6.000,00 €	159.242,66 €	1.500,00 €	79.621,33 €	5.000,00 €	302.890,43 €
2043	-	6.000,00 €	159.178,96 €	1.500,00 €	79.589,48 €	5.000,00 €	302.774,82 €
2044	-	6.000,00 €	159.115,29 €	1.500,00 €	79.557,65 €	5.000,00 €	302.659,25 €
2045	-	6.000,00 €	159.051,65 €	1.500,00 €	79.525,82 €	5.000,00 €	302.543,74 €
2046	-	6.000,00 €	158.988,03 €	1.500,00 €	79.494,01 €	5.000,00 €	302.428,27 €
2047	-	6.000,00 €	158.924,43 €	1.500,00 €	79.462,21 €	5.000,00 €	302.312,84 €
2048	-	6.000,00 €	158.860,86 €	1.500,00 €	79.430,43 €	5.000,00 €	302.197,46 €
2049	-	6.000,00 €	158.797,32 €	1.500,00 €	79.398,66 €	5.000,00 €	302.082,13 €
TOTAL							17.727.015,87 €

Tabla 30- Resumen gastos anuales

4.5 LCOE

Las siglas de LCOE se corresponden con la frase “Levelized Cost Of Energy”. El LCOE es un método que permite determinar el coste de producir un kWh en una determinada instalación teniendo en cuenta su producción a lo largo de la vida útil de la misma. Esta metodología es aplicable a cualquier tipo de sistema, fotovoltaico, eólico, térmico, geotérmico, etc. Gracias a esto, es posible determinar qué tipo de instalación de producción energética es más competitiva.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Siendo:

- I_t (€) = Gastos de Inversión en el año t (€)
- M_t (€) = Gastos de Operación y Mantenimiento en el año t
- F_t (€) = Gastos de Combustible (Fuel) en el año t
- E_t (kWh) = Electricidad Generada en el año t
- r (%) = tasa de descuento (i.e.: 4%)
- t (años) = Vida Útil o Esperada del sistema. 30 años en el caso de la fotovoltaica

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} = 0,0326 \text{ €/kWh}$$

4.6 RENTABILIDAD DEL PROYECTO

4.6.1 TIR

La Tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Para que la inversión sea atractiva, el TIR debe ser mayor que las rentabilidades alternativas propuestas por el mercado en productos de menor riesgo.

El TIR está relacionado con el VAN, siendo el valor de la tasa de descuento que logra que el VAN sea igual a cero. Por lo tanto, partiendo de la ecuación del VAN expuesta en el siguiente subapartado e igualándola a cero, se obtiene el TIR del proyecto. El cálculo se ha efectuado en un Excel y tiene como resultado:

$$TIR = 5,00\%$$

4.6.2 VAN

El valor actual neto (VAN) es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto frente a un producto financiero de rentabilidad r . Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y gastos y descontar la inversión inicial, se obtienen ganancias, el proyecto es viable.

El cálculo del VAN se realiza con la expresión: $VAN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q^i}{(1+r)^i}$

Donde:

- I representa la inversión inicial
- N la duración del proyecto de inversión
- r la tasa de rentabilidad alternativa
- Q_i el dinero generado en el año i por nuestro proyecto.

$$VAN = -7.800.000 + \sum_{i=1}^{30} \frac{Q_i}{(1+r)^i} = 16.571.619,45 \text{ €}$$

4.6.3 PAY-BACK

El periodo de retorno o Pay-Back hace referencia al tiempo que se tardará en recuperar la inversión inicial efectuada. Para plantas fotovoltaicas suele rondar entre 10 y 15 años, siendo el valor para este proyecto de 15 años.

Año	Ingresos	Gastos	Resultados	Amortización	Deuda bancaria	Flujo total
2020	1.176.114,59 €	855.579,15 €	320.535,44 €	403.249,35 €	8.795.490,90 €	-8.474.955,46 €
2021	1.194.838,33 €	858.977,51 €	335.860,82 €	818.596,19 €	8.167.241,55 €	-7.831.380,73 €
2022	1.218.902,62 €	863.345,18 €	355.557,44 €	1.246.403,43 €	7.538.992,20 €	-7.183.434,76 €
2023	1.238.307,55 €	866.867,17 €	371.440,38 €	1.687.044,88 €	6.910.742,85 €	- 6.539.302,47 €
2024	1.258.021,40 €	870.445,23 €	387.576,17 €	2.140.905,58 €	6.282.493,50 €	-5.894.917,33 €
2025	1.278.049,10 €	874.080,26 €	403.968,84 €	2.608.382,10 €	5.654.244,15 €	-5.250.275,31 €
2026	1.298.395,65 €	877.773,16 €	420.622,49 €	3.089.882,92 €	5.025.994,80 €	-4.605.372,31€
2027	1.319.066,10 €	881.524,85 €	437.541,26 €	3.585.828,76 €	4.397.745,45 €	-3.960.204,19 €
2028	1.340.065,64 €	885.336,26 €	454.729,37 €	4.096.652,98 €	3.769.469,10 €	-3.314.766,73 €
2029	1.361.399,48 €	889.208,36 €	472.191,13 €	4.622.801,92 €	3.141.246,75 €	-2.669.055,62 €
2030	1.383.072,96 €	893.142,09 €	489.930,87 €	5.164.735,33 €	2.512.997,40 €	-2.023.066,53 €
2031	1.405.091,48 €	897.138,45 €	507.953,03 €	5.722.926,75 €	1.884.748,05 €	-1.376.795,02 €
2032	1.427.460,54 €	901.198,44 €	526.262,10 €	6.297.863,90 €	1.256.498,70 €	-730.236,60 €
2033	1.450.185,71 €	905.323,06 €	544.862,65 €	6.890.049,17 €	628.249,35 €	-83.386,70 €
2034	1.473.272,67 €	909.513,34 €	563.759,33 €	7.500.000,00 €	- €	480.372,63 €
2035	1.496.727,17 €	285.520,98 €	1.211.206,19 €	- €	- €	1.691.578,82€
2036	1.520.555,06 €	289.845,74 €	1.230.709,32 €	- €	- €	2.922.288,14 €
2037	1.544.762,30 €	294.239,36 €	1.250.522,94 €	- €	- €	4.172.811,08 €
2038	1.569.354,92 €	298.702,92 €	1.270.652,00 €	- €	- €	5.443.463,08 €
2039	1.594.339,05 €	303.237,54 €	1.291.101,51 €	- €	- €	6.734.564,60 €
2040	1.593.701,31 €	303.121,79 €	1.290.579,52 €	- €	- €	8.025.144,12 €
2041	1.593.063,83 €	303.006,09 €	1.290.057,75 €	- €	- €	9.315.201,87 €
2042	1.592.426,61 €	302.890,43 €	1.289.536,18 €	- €	- €	10.604.738,04 €
2043	1.591.789,64 €	302.774,82 €	1.289.014,82 €	- €	- €	11.893.752,86 €
2044	1.591.152,92 €	302.659,25 €	1.288.493,66 €	- €	- €	13.182.246,52 €
2045	1.590.516,46 €	302.543,74 €	1.287.972,72 €	- €	- €	14.470.219,24 €
2046	1.589.880,25 €	302.428,27 €	1.287.451,99 €	- €	- €	15.757.671,23 €
2047	1.589.244,30 €	302.312,84 €	1.286.931,46 €	- €	- €	17.044.602,69 €
2048	1.588.608,60 €	302.197,46 €	1.286.411,14 €	- €	- €	18.331.013,83 €
2049	1.587.973,16 €	302.082,13 €	1.285.891,03 €	- €	- €	19.616.904,86 €

Tabla 31- Payback del proyecto

CONCLUSIONES

Las energías renovables son competitivas a nivel económico frente al resto de energías convencionales debido a que los costes de producción se han reducido en gran medida y se seguirán reduciendo a la vez que se mejorarán las eficiencias. Actualmente la energía fotovoltaica ya no necesita de subvenciones para poder competir en el mercado, lo cual supone un gran avance. Todo esto unido a que en el futuro los costes de producción de energía mediante combustibles fósiles se verán incrementados, sugiere que el futuro se encuentra en manos de las energías renovables.

Particularizando en la energía solar fotovoltaica, esta tecnología posee ya una gran madurez, lo cual permite que sea muy fiable construir este tipo de instalaciones. Como ya se ha expuesto la energía fotovoltaica no necesita subvenciones para ser rentable y eso facilita las inversiones al no depender de agentes externos que puedan variar las condiciones iniciales.

Tras haberse realizado todos los cálculos pertinentes, se puede concluir que la viabilidad económica del presente proyecto es favorable. Tanto el TIR como el VAN dan buenos resultados, y el periodo de retorno se encuentra dentro de lo razonable para este tipo de instalaciones. Este factor es fundamental a la hora de diseñar cualquier proyecto cuya finalidad sea conseguir una rentabilidad.

Para finalizar esta conclusión, me gustaría añadir que debemos esforzarnos en potenciar las energías renovables y los procesos de eficiencia energética ya que está demostrado que los beneficios son notables tanto medioambientales como sociales, y es nuestra obligación ayudar a que esto sea posible.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Solar Cell Efficiency”, PVEducation.org: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency>
- [2] “Solar Cell I-V characteristics”, Alternative Energy Tutorials: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/solar-cell-i-v-characteristic.html>
- [3] “Como funcionan placas solares”, Genera Tu Luz: <https://www.generatuluz.com/como-funcionan-placas-solares/>
- [4] “Energía solar es imparable”, Xataka: <https://www.xataka.com/energia/los-11-graficos-que-demuestran-que-lo-de-la-energia-solar-es-imparable>
- [5] “Energía solar multiplica su potencia”, Carlos Fresneda, El Mundo: <https://www.elmundo.es/ciencia/2015/06/09/5577288022601d00338b457e.html>
- [6] “Generación solar en España”, TSolar: <https://www.tsolar.com/es/noticias/graficos-de-interes-en-la-generacion-solar-fotovoltaica-en-espana.html>
- [7] “Estadísticas sistema eléctrico”, Red Eléctrica España: <https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico/3015/3001>
- [8] “Informe sistema eléctrico España 2019”, Red Eléctrica España: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElctrico/2019/Avance_ISE_2018.pdf datos energía renovable 2018
- [9] “Influencia irradiación y temperatura en un panel fotovoltaico”, Ingelibre Blog: <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>
- [10] “Catástro de los terrenos del parque fotovoltaico”, Sede Catástro: <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?refcat=45055A00100001&from=OVCBusqueda&pest=rc&final=&RCCompleta=45055A001000010000TQ&ZV=NO&del=45&mun=55>
- [11] “Información panel fotovoltaico”, Canadian Solar: <https://www.canadiansolar.com/upload/9af6c207e648ca8f/eed96ea807d66b18.pdf>
- [12] “Información caja de conexiones”, Ingecom: <ingecon-sun-stringbox-1000v-1500v.pdf>
- [13] “Información Inversor”, Power Electronics: http://power-electronics.com/files/2019/03/20190312_SolarBrochure_v06.pdf
- [14] “Información Transformador de potencia”, Power Electronics: http://www.downloads.power-electronics.com/15%20FREESUN/01%20CATALOGOS/20181228_SolarBrochure_V30.pdf

[15] “Datos meteorológicos”, Datos Clima:

<https://datosclima.es/Aemethistorico/Meteostation.php>

[16] “Información sobre cables”, Top Cable:

<http://descargas.hispanofil.es/Top%20Cable/Cables%20Solares%202014.pdf>

[17] “Información sobre cables”, Prysmian:

https://es.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/PRY-Afumex%20Class%20Mu%CC%81ltiple%201000%20V%20%28AS%29.pdf

[18] “Información posición del sol”, Sun Earth Tools:

https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#annual

[19] “Normativa baja tensión”, ITC-BT-07:

http://www.f2i2.net/documentos/lsi/rbt/ITC_BT_07.pdf

[20] “Guía instalaciones baja tensión”, Prysmian Club: http://www.prysmianclub.es/wp-content/uploads/2018/05/2018_Prysmian_-GU%C3%8DA-TECNICA_Baja-Tensi%C3%B3n-ilovepdf-compressed.pdf

[21] “Guía instalaciones de puesta a tierra”, ITC-BT-18:

http://roble.pntic.mec.es/jcat0021/NUEVO_REBT/ARCHIVOS/INDICE%20DE%20LAS%20INSTRUCCIONES%20TECNICAS%20COMPLEMENTARIAS_archivos/ITC-BT-18.htm

[22] “Información presupuestos equipos”, Generador Precios:

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=4|0_0_0_0_0_0_0_0_0_0|IEH015|ieh_015:c8_0_2c10_0_3

[23] “Guía técnica condiciones climáticas exteriores”, IDAE:

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf

[24] “Informes del operador del mercado ibérico de energía”, OMIE:

http://www.omie.es/reports/index.php?report_id=211

ANEXO I: PLIEGO DE CONDICIONES, NORMATIVA APLICABLE

1. OBJETO DEL PLIEGO

El objeto de este Pliego es definir las condiciones que han de regir en la ejecución de las obras comprendidas en el Proyecto.

2. ALCANCE

Se entenderá que su contenido rige para todas las materias que comprenden y expresan los distintos capítulos, en cuanto no se opongan a lo establecido en la legislación vigente.

Las unidades de obra que no se hayan incluido y señalado específicamente en este Pliego, se ejecutarán de acuerdo con lo establecido en las normas e instrucciones técnicas en vigor que sean aplicables a dichas unidades, con lo sancionado por la costumbre como reglas de buena práctica en la construcción y con las indicaciones que, sobre el particular, señale la Dirección Facultativa de la Obra.

3. RELACIONES GENERALES

El presente Pliego obliga a la Propiedad, a la Dirección Facultativa de las obras y al Contratista.

3.1 La propiedad

El término propiedad se refiere a cualquier persona, física o jurídica, representante de la misma, autorizado legalmente.

3.2 La dirección facultativa

El término Dirección Facultativa se refiere al Ingeniero que lleve oficialmente la dirección de las obras o a la persona o personas autorizadas formalmente por éste para representarle en algún aspecto relacionado con esta dirección, por una parte, y por otra al Ingeniero Técnico de la obra propuesto y aceptado por la propiedad.

3.3 El contratista y su personal de obras

Se entiende por Contratista la parte contratante obligada a ejecutar la obra.

Se entiende por Delegado de Obra del Contratista, la persona designada expresamente por el Contratista y aceptada por la Propiedad y la Dirección Facultativa, con capacidad suficiente para:

Ostentar la representación del Contratista cuando sea necesaria su actuación o presencia en cualquier acto derivado del cumplimiento de las obligaciones contractuales, siempre en orden a la ejecución y buena marcha de las obras.

Organizar la ejecución de la obra e interpretar y poner en práctica las órdenes recibidas de la Dirección.

Proponer a ésta o colaborar con ella en la resolución de los problemas que se planteen durante la ejecución.

La Propiedad y la Dirección Facultativa exigirán que el Delegado tenga la titulación Ingeniero y que, además, disponga del personal facultativo necesario a sus órdenes, entre ellos un Ingeniero Técnico.

La Dirección de obra podrá suspender los trabajos, sin que de ello se deduzca alteración alguna de los términos y plazos del contrato, cuando no se realicen bajo la dirección del personal facultativo designado para los mismos. Asimismo, la Dirección Facultativa podrá recabar del Contratista la designación de un nuevo Delegado y, en su caso, de cualquier facultativo que de él dependa, cuando así lo justifique la marcha de los trabajos.

3.4 Residencia del contratista

El Contratista está obligado a comunicar a la Propiedad, en un plazo de quince (15) días a partir de la fecha en que se le haya notificado la adjudicación definitiva de las obras, su residencia o la de su Delegado, a todos los efectos derivados de la ejecución de aquellas.

Desde que comiencen las obras hasta su Recepción Definitiva, el Contratista o su Delegado, deberán residir en el lugar indicado y, en caso de ausencia, quedará obligado a comunicar fehacientemente a la Dirección la persona que designe para sustituirle.

3.5 Oficina de obra del contratista

El Contratista deberá instalar antes del comienzo de las obras, y mantener durante la ejecución de las mismas, una oficina de obras en el lugar que considere más apropiado, previa conformidad del Director. Esta oficina deberá contar con una sala de reuniones suficientemente amplia y una sala de trabajo para la Dirección Facultativa. También deberá contar con los medios tecnológicos modernos que fuesen necesarios a juicio del Director de la Obra (teléfono, ordenador, impresora y línea de fax por lo menos).

El Contratista deberá, necesariamente, conservar en ella copia autorizada de los documentos contractuales del Proyecto o Proyectos base del Contrato y el libro de órdenes; a tales efectos, la Propiedad suministrará a aquél una copia de los mismos, antes de la fecha en que tenga lugar la Comprobación de Replanteo.

3.6 El libro de órdenes

El Libro de Órdenes, debidamente diligenciado por el organismo o Colegio Profesional correspondiente, se abrirá en la fecha de Comprobación de Replanteo y se cerrará en la de la Recepción Definitiva.

Durante dicho lapso de tiempo estará a disposición de la Dirección en la oficina de obra del Contratista que, cuando proceda, anotará en él las órdenes, instrucciones y comunicaciones que estime oportunas, autorizándolas con su firma.

Efectuada la Recepción Definitiva, el Libro de Órdenes pasará a poder el Director, si bien podrá ser consultado, en todo momento, por el Contratista.

El Contratista está obligado a proporcionar a la Dirección las facilidades necesarias para la recogida de los datos de toda clase que sean precisos para que ésta pueda llevar correctamente el Libro de Órdenes.

3.7 Órdenes al contratista

El Contratista se atenderá, en el curso de la ejecución de las obras, a las órdenes e instrucciones que se sean dadas por la Dirección, que se le comunicarán por escrito a través del Libro de Órdenes, debiendo, el Contratista o su Delegado, firmar el "Enterado".

Cuando el Contratista estime que las prescripciones de una Orden sobrepasan las obligaciones del contrato, deberá presentar la observación escrita y justificada en un plazo de treinta (30) días, transcurrido el cual no será atendible. La reclamación no suspende la ejecución de la orden de servicio.

El Contratista está obligado a aceptar las prescripciones escritas que señale la Dirección, aunque supongan modificación o anulación de órdenes precedentes, o alteración de planos previamente autorizados o de su documentación aneja.

3.8 Interpretación del proyecto y sus modificaciones

Sin perjuicio de las disposiciones precedentes, el Contratista está obligado a ejecutar las obras ateniéndose estrictamente a los planos, perfiles, dibujos, órdenes de servicio y, en su caso, a los modelos que le sean suministrados en el curso del contrato.

Corresponde exclusivamente a la Dirección Facultativa la interpretación del Proyecto y, por consiguiente, la expedición de órdenes complementarias, gráficas o escritas, para el desarrollo del mismo.

El Contratista carece de facultades para introducir modificaciones en el Proyecto de las obras contratadas, en los planos de detalle autorizados por la Dirección o en las órdenes que le hayan sido comunicadas. A requerimiento del Director, el Contratista estará obligado, a su cargo, a sustituir los materiales indebidamente empleados, y a la demolición y reconstrucción de las obras ejecutadas en desacuerdo con las órdenes o los planos autorizados.

Si la Dirección estimase que ciertas modificaciones ejecutadas bajo la iniciativa del Contratista son aceptables, las nuevas disposiciones podrán ser mantenidas, pero entonces el Contratista no tendrá derecho a ningún aumento de precio, tanto por dimensiones mayores

como por un mayor valor de los materiales empleados. En este caso las mediciones se basarán en las dimensiones fijadas en los planos y órdenes. Si, por el contrario, las dimensiones son menores o el valor de los materiales es inferior, los precios se reducirán proporcionalmente.

La Propiedad, de acuerdo con la Dirección Facultativa, se reserva la facultad de realizar modificaciones en el Proyecto o en las obras. Si de estas modificaciones se dedujera la necesidad de formular nuevos precios, se establecerán contradictoriamente, en la forma que se especifica más adelante.

4. OBLIGACIONES GENERALES DEL CONTRATISTA

4.1 Obligaciones sociales y laborales

El Contratista está obligado al cumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral, de Seguridad Social y de Seguridad y Salud.

El Contratista deberá constituir el órgano necesario con función específica de velar por el cumplimiento de las disposiciones vigentes sobre Seguridad y Salud y designará el personal técnico de seguridad que asuma las obligaciones correspondientes en cada centro de trabajo.

El incumplimiento de estas obligaciones por parte del Contratista, o la infracción de las disposiciones sobre seguridad por parte del personal técnico designado por él, no implicará responsabilidad alguna para la Propiedad.

En cualquier momento, la Dirección Facultativa podrá exigir del Contratista la justificación de que se encuentra en regla en el cumplimiento de lo que concierne a la aplicación de la legislación laboral y de la Seguridad Social de los Trabajadores ocupados en la ejecución de las obras objeto del Contrato.

4.2 Contratación de personal

Corresponde al Contratista, bajo su exclusiva responsabilidad, la contratación de toda la mano de obra que precise para la ejecución de los trabajos en las condiciones previstas por el contrato y en las condiciones que fije la normativa laboral vigente.

El Contratista deberá disponer del equipo técnico necesario para la correcta interpretación de los planos, para elaborar los planos de detalle, para efectuar los replanteos que le correspondan, y para la ejecución de la obra de acuerdo con las normas establecidas en el presente Pliego y en el de Condiciones Particulares.

El Director de Obra podrá exigir la retirada de la obra del empleado u operario del Contratista que incurra en insubordinación, falta de respeto a él mismo o a sus subalternos, o realice actos que comprometan la buena marcha o calidad de los trabajos, o por incumplimiento reiterado de las normas de seguridad.

El Contratista entregará a la Dirección, cuando ésta lo considere oportuno, la relación de personal adscrito a la obra, clasificado por categorías profesionales y tajos.

El Contratista es responsable de las malversaciones o fraudes que sean cometidos por su personal en el suministro o en el empleo de los materiales.

4.3 Subcontratas

Cuando en este Pliego se alude al Contratista, se hace referencia al Constructor Principal o General de la Obra, si es uno sólo, o al que haya contratado directamente con la Propiedad la parte de obra adjudicada; pero no a otros que hayan podido subcontratar o destajar trabajos parciales bajo la exclusiva responsabilidad del Constructor Principal.

El Contratista será responsable de la observancia de lo dispuesto en este Pliego y en todos los documentos que integran el Proyecto, por parte de los subcontratistas y del personal de éstos.

Las subcontratas que realizase el Contratista, podrán ser rechazadas por la Dirección Facultativa, por los mismos motivos y en las mismas condiciones establecidas para el personal del Contratista.

4.4 Organismos oficiales

La contrata deberá gestionar ante los Organismos competentes los inicios de obra, la vigilancia de la misma y la recepción por parte de dichos organismos, así como los problemas que puedan surgir con ellos a lo largo de la obra. Deberá mantener con los mismos los debidos contactos, para evitar posibles discrepancias de criterios.

4.5 Conocimiento del emplazamiento de las obras

El Contratista tiene la obligación de haber inspeccionado y estudiado el emplazamiento y sus alrededores, su configuración y naturaleza, así como el alcance de los trabajos a realizar y los materiales necesarios para la ejecución de las obras, los accesos al emplazamiento y los medios que pueda necesitar.

Ningún error de interpretación que pudieran contener o surgir del uso de documentos, estudios previos, informes técnicos o suposiciones establecidas en el Proyecto y, en general, de toda la información adicional suministrada a los licitadores por la Propiedad, o procurada por éstos directamente, relevará al Contratista de las obligaciones dimanantes del Contrato.

4.6 Servidumbres y permisos

El Contratista está obligado a mantener provisionalmente durante la ejecución de la obra, y a reponer a su finalización, todas las servidumbres existentes. Tal relación podrá ser rectificadas como consecuencia de la Comprobación de Replanteo o de necesidades surgidas durante la ejecución de la obra.

Son de cuenta del Contratista los trabajos necesarios para el mantenimiento y reposición de tales servidumbres.

Los servicios de suministro y distribución de agua potable, energía eléctrica, gas y teléfono, así como los de saneamiento, tendrán el carácter de servidumbres.

En cualquier caso, se mantendrán, durante el desarrollo de las obras, todos los accesos a las viviendas y fincas existentes en la zona afectada por las obras.

El Contratista deberá obtener, con la antelación necesaria para que no se presenten dificultades en el cumplimiento del Programa de Trabajos, todos los permisos que se precisen para la ejecución de las obras. Los gastos de gestión derivados de la obtención de estos permisos, serán siempre a cuenta del Contratista. Asimismo, abonará a su costa todos los cánones para la ocupación temporal de terrenos para instalaciones, explotación de canteras, préstamos o vertederos, y obtención de materiales.

El Contratista estará obligado a cumplir estrictamente todas las condiciones que haya impuesto el organismo o la entidad otorgante del permiso, en orden a las medidas, precauciones, procedimientos y plazos de ejecución de los trabajos para los que haya sido solicitado el permiso.

4.7 Protección del medio ambiente

El Contratista estará obligado a evitar la contaminación del aire, cursos de agua superficial o subterránea, lagos, cultivos, montes y, en general, cualquier clase de bien público o privado que pudiera producir la ejecución de las obras, la explotación de canteras, los talleres, y demás instalaciones auxiliares, aunque estuvieren situadas en terrenos de su propiedad. Los límites de contaminación admisibles serán los definidos como tolerables, en cada caso, por las disposiciones vigentes o por la Autoridad competente.

La contaminación producida por los ruidos ocasionados por la ejecución de las obras, se mantendrá dentro de los límites de frecuencia e intensidad tales que no resulten nocivos para las personas afectas a la misma, según sea el tiempo de permanencia continuada bajo el efecto del ruido o la eficacia de la protección auricular adoptada, en su caso.

Todos los gastos que originase la adaptación de las medidas y trabajos necesarios para el cumplimiento de lo establecido en el presente artículo, serán a cargo del Contratista, por lo que no serán de abono directo.

4.8 Vigilancia de las obras

El Contratista es responsable del orden, limpieza y condiciones sanitarias de las obras objeto del contrato, por lo que deberá adoptar a su cargo y bajo su responsabilidad las medidas que le sean señaladas por las Autoridades competentes, por los Reglamentos vigentes y por el Director. A este respecto son obligación del Contratista, entre otras, las siguientes medidas:

Limpiar todos los espacios interiores y exteriores de la obra de escombros, materiales sobrantes, desperdicios, basuras, chatarra, andamios y de todo aquello que impida el perfecto estado de la obra y sus inmediaciones.

Proyectar, construir, equipar, operar, mantener, desmontar y retirar de la zona de la obra las instalaciones necesarias para la recogida, tratamiento y evacuación de las aguas residuales de sus oficinas e instalaciones, así como para el drenaje de las áreas donde estén ubicadas y de las vías de acceso.

En caso de heladas o nevadas, adoptar las medidas necesarias para asegurar el tránsito de vehículos y peatones en las carreteras, caminos, sendas, plataformas, andamios y demás accesos y lugares de trabajo, que no hayan sido cerrados eventualmente en dichos casos.

Retirar de la obra las instalaciones provisionales, equipos y medios auxiliares en el momento en que no sean necesarios.

Adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos necesarios para que la obra, durante su ejecución y una vez terminada, ofrezca un buen aspecto a juicio de la Dirección.

Establecer y mantener las medidas precisas, por medio de agentes y señales, para indicar el acceso a la obra y ordenar el tráfico en la zona de obras, especialmente en los puntos de posible peligro, tanto en dicha zona como en sus lindes e inmediaciones.

Llevar a cabo la señalización en estricto cumplimiento de las disposiciones vigentes en la materia, bajo su propia responsabilidad, y sin perjuicio de lo que sobre el particular ordene el Director.

Cuando dicha señalización se aplique sobre instalaciones dependientes de organismos públicos, el Contratista estará obligado además a lo que sobre el particular establezcan las normas del organismo público a que se encuentre afecta la instalación.

En casos de conflictos de cualquier clase que afecten o estén relacionados con la obra, que pudieran implicar alteraciones de orden público, corresponderá al Contratista la obligación de ponerse en contacto con las Autoridades competentes y colaborar con ellas en la disposición de las medidas adecuadas para evitar dicha alteración, manteniendo al Director debidamente informado.

Se pondrá un especial cuidado en la adopción de las medidas necesarias para la protección de instalaciones eléctricas y telefónicas, en el almacenamiento y empleo de explosivos, carburantes, gases y cualquier material inflamable, deflagrante o detonante que pueda representar peligro para las personas de obra o ajenas a la misma.

Se prestará particular atención a la vigilancia, por parte de los operarios responsables de la empresa constructora, de la protección reglamentaria de huecos o aberturas en suelos, al

mantenimiento y reposición de vallados, barandillas y señalizaciones, y a la inspección diaria de los andamios, maquinaria y medios auxiliares que se utilicen en la Obra. Asimismo deberán efectuarse reconocimientos del terreno durante la ejecución de las obras, cuando bien por causas naturales o por efectos de los propios trabajos de obra, sean posibles los movimientos del terreno no controlados. En este último caso el Contratista adoptará de inmediato las protecciones, entibaciones y las medidas de seguridad que la actual tecnología ofrezca, sin perjuicio de que la Dirección proponga las medidas a tomar a medio y largo plazo.

Todos los gastos que origine el cumplimiento de lo establecido en el presente apartado serán de cuenta del Contratista, por lo que no serán de abono directo, esto es, se consideran incluidos en los precios del contrato.

4.9 Guardería de las obras

El Contratista, atendiendo a la importancia de la obra, empleará los guardas, diurnos y nocturnos, necesarios para la vigilancia de la zona de trabajos, almacenamiento y acopio, tanto para proteger vidas humanas como materiales y bienes durante todo el periodo de la obra. Los guardas serán responsables del adecuado emplazamiento de las luces de seguridad, empalizadas y dispositivos de seguridad, durante las horas, de cualquier día, en que no se efectúen trabajos y, en particular, durante las noches, sábados, domingos y días festivos.

En general, será responsabilidad del Contratista, proporcionar protección adecuada a todos los materiales y equipo, para evitar su deterioro y daños en todo momento y en cualesquiera condiciones climatológicas.

Los gastos originados para el cumplimiento de lo establecido en el presente apartado se consideran incluidos en los precios del contrato.

4.10 Anuncios y carteles

Ni en las vallas, ni en ningún lugar de las obras, podrán colocarse anuncios, carteles ni inscripciones de ningún tipo sin la autorización previa de la Dirección Facultativa.

La Dirección Facultativa, de acuerdo con la Propiedad, tendrá las atribuciones para indicar el formato, tipo, dimensiones y lugar de colocación de los carteles y rótulos. Asimismo, podrá ordenar la retirada de los que se colocasen sin cumplir con los requisitos establecidos en el presente apartado.

5. EL CONTRATO. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

5.1 El contrato

La Propiedad y el Contratista formalizarán contrato mediante documento privado o público, a petición de cualquiera de las partes, con arreglo a las disposiciones legales vigentes. Ambos, antes de firmar el Contrato, aceptarán y firmarán el Pliego de Condiciones.

En el Contrato se acordarán y especificarán las condiciones y particularidades que convengan ambas partes, y todas aquellas que sean necesarias como complemento de este Pliego: plazos, porcentajes, revisión de precios, causas de rescisión, liquidación por rescisión, arbitrajes, etc.

5.2 Documentación técnica

El Proyecto que define y especifica las obras objeto del Contrato se considerará anejo inseparable de éste.

El Proyecto está integrado por los siguientes documentos:

- Memoria
- Cálculos
- Planos
- Pliego de Condiciones
- Presupuesto
- Estudio Básico de Seguridad y Salud

También formará parte del Contrato, aquella documentación técnica que se incorpore a los documentos de adjudicación o de formalización del contrato, que vengán a definir la obra a ejecutar al nivel de detalle posible en el momento de la licitación. Todos los documentos técnicos deberán disponer del visto bueno del Director.

El Contratista deberá entregar a la Propiedad, a través de la Dirección Facultativa, los planos de detalle correspondientes a instalaciones de obra y obras auxiliares necesarias para la ejecución de las obras, tales como: caminos y accesos, oficinas, laboratorios, talleres y almacenes, parques de acopio de materiales, instalaciones de suministro de agua, electricidad, telefonía y saneamiento, servicios médicos, producción de áridos y fabricación y puesta en obra del hormigón, etc.

El Contratista está obligado, también, a presentar para su aprobación los planos, las prescripciones técnicas y la información complementaria para la ejecución y el control de los

trabajos que hayan de ser realizados por algún subcontratista especializado, tales como sondeos, inyecciones, cimentaciones indirectas, trabajos subacuáticos, obras realizadas por procedimientos patentados u otros trabajos de tecnología especial.

El Contratista al finalizar la obra, y antes de la recepción provisional, estará obligado a entregar los planos "as built" de cada una de las instalaciones ejecutadas.

5.3 Alcance jurídico de la documentación técnica

Los errores materiales que puedan contener los documentos del Proyecto podrán dar lugar a revisión de las condiciones estipuladas en el Contrato si son denunciadas, por cualesquiera de las partes, dentro de dos (2) meses computados a partir de la fecha del Acta de Comprobación del Replanteo y afecten, además, al importe de la obra, al menos en un veinte (20) por ciento. En caso contrario, sólo darán lugar a su rectificación, con independencia del criterio de abono.

Todos los documentos que integran el Proyecto se considerarán complementarios, recíprocamente, es decir que lo mencionado en uno y omitido en otro, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos, siempre que, a juicio de la Dirección Facultativa, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y ésta tenga precio en el contrato.

Las omisiones en Planos y Pliego de Condiciones, o las descripciones erróneas de los detalles de la obra que sean manifiestamente indispensables para llevar a cabo los trabajos de acuerdo con los criterios expuestos en ambos documentos, o que por uso y costumbre deban ser realizados, no sólo no eximen al Contratista de la obligación de ejecutar estos detalles de obra omitidos o erróneamente descritos, sino que, por el contrario, deberán ser ejecutados como si hubieran sido completa y correctamente especificados en Planos y Pliego de Condiciones. Con independencia del criterio que se utilice para su abono.

En caso de contradicción entre los planos y el Pliego de Condiciones, prevalecerá lo dispuesto en este último.

5.4 Modificaciones del contrato

Cuando se produzca una paralización de las obras cuya duración se prevea que puede exceder de seis (6) meses o de la quinta (5ª) parte del plazo total de ejecución, se extenderá un Acta de interrupción firmada por la Dirección Facultativa y el Contratista o su Delegado. En la referida Acta se enumeran, exhaustivamente, las causas de la interrupción. Una vez que puedan reanudarse las obras, la reanudación se documentará y tramitará con las mismas formalidades que las previstas para su interrupción.

Si la interrupción fuera motivada por causa imputable al Contratista, el incumplimiento de los plazos parciales o del total deja en suspenso la aplicación de la cláusula de revisión de precios y, en consecuencia, el derecho a la liquidación por revisión de obra ejecutada en mora, que se

abonará a los precios primitivos del contrato. Sin embargo, cuando restablezca el ritmo de ejecución determinado por los plazos parciales, recuperará, a partir de ese momento, el derecho a la revisión en las certificaciones sucesivas.

Cuando se produjera la interrupción por causas no imputables al Contratista, si éste solicitara dentro del plazo contractual de ejecución de la obra prórroga del mismo, podrá concedérsele un plazo igual al de interrupción, salvo que solicite uno menor.

Si la Propiedad acordara paralizar la ejecución del contrato, se formalizará mediante Acta de Suspensión firmada por la Dirección Facultativa y el Contratista, en la que se reflejarán las causas motivadoras de la suspensión.

Si por causas no imputables al Contratista o por decisión de la Propiedad se produjese la suspensión definitiva de las obras, el Contratista tendrá derecho al valor de las efectivamente realizadas, a la revisión de precios prevista por la parte de obra ejecutada, en su caso, y al beneficio industrial del resto. En el caso de que la suspensión fuese de carácter temporal, por tiempo superior a la quinta (5^a) parte del plazo total del contrato, el Contratista tendrá derecho a revisión de precios de la obra ejecutada y a la indemnización de los daños y perjuicios que se le hubieren irrogado por esta causa. Si la suspensión fuese por plazo inferior, sólo tendrá derecho a la revisión de precios. En cualquier caso, de los expuestos, se aplicarán los coeficientes que correspondan a las fechas en que se ejecutaron las obras.

Cuando sea necesario modificar alguna característica o dimensión de los materiales a emplear en la ejecución de alguna unidad de obra de la que figura precio en el contrato y ello no suponga un cambio en la naturaleza ni en las propiedades intrínsecas de las materias primas que lo constituyen, por lo que dicha modificación no implica una diferencia sustancial de la unidad de obra, la Dirección Facultativa fijará Precio Nuevo a la vista de la propuesta y de las observaciones del Contratista.

Estos Precios Nuevos se calcularán por interpolación o extrapolación entre los precios de unidades de obra del mismo tipo que figuren en los Cuadros de Precios del Contrato, en función de los precios de mercado del material básico que se modifica.

Cuando las modificaciones del Proyecto supongan la introducción de unidades de obra no comprendidas en el contrato o cuyas características difieran sustancialmente de las incluidas en el mismo, los precios de aplicación serán fijados contradictoriamente entre ambas partes.

En cualquier caso, para la fijación de los Precios Contradictorios se utilizarán los costes de mano de obra, materiales, maquinaria y demás precios auxiliares incorporados al contrato, y en su defecto los que correspondan a la fecha en que tuvo lugar la licitación.

Los Precios Nuevos o Contradictorios, una vez aceptados por la Propiedad, se considerarán incorporados, a todos los efectos, a los Cuadros de Precios del Proyecto que sirvió de base para el contrato.

5.5 Conclusión del contrato

Dentro de los diez (10) días siguientes a la fecha de terminación de las obras, se procederá al acto de Recepción Provisional de las mismas, la cual se realizará de acuerdo con la reglamentación vigente que le afecte y con lo establecido en este Pliego.

Podrán ser objeto de Recepción Provisional aquellas partes de obra que deban ser ejecutadas en las fases y plazos parciales establecidos en el contrato.

Si se encuentran las obras en buen estado y con arreglo a las prescripciones previstas, la Dirección Facultativa las dará por recibidas provisionalmente y se entregarán al uso y destino correspondiente.

La Recepción Provisional se formalizará mediante un Acta que será firmada por la Propiedad, la Dirección Facultativa y el Contratista.

El plazo de garantía comenzará el día siguiente al de la firma del Acta de Recepción Provisional. Su duración se establecerá en el contrato y no podrá ser inferior a un (1) año, salvo circunstancias especiales.

En los casos en que haya lugar a Recepciones Provisionales parciales, el plazo de garantía de las partes recibidas comenzará a contarse desde la fecha de las respectivas Recepciones parciales.

La Dirección Facultativa y el Contratista, o su Delegado, acordarán la fecha en que ha de procederse a la medición general para la liquidación de la obra ejecutada. El Contratista, o su Delegado, tienen la obligación de asistir a la toma de datos y realización de la medición general que efectuarán conjuntamente con la Dirección Facultativa. Si por causas que le sean imputables, no cumple tal obligación, no podrá realizar reclamación alguna en orden al resultado de la medición, salvo justificación fehaciente de la no imputabilidad de aquellas causas.

Para realizar la medición general, se utilizarán como datos complementarios la Comprobación de Replanteo, los replanteos parciales y las mediciones efectuadas durante la ejecución de la obra, el Libro de Órdenes, el Libro de Incidencias si lo hubiera, y cuantos otros estimen necesarios la Dirección Facultativa y el Contratista.

La Dirección Facultativa formulará la liquidación de las obras aplicando al resultado de la medición general los precios y condiciones económicas del contrato.

Las reclamaciones o reparos que estime necesario hacer el Contratista contra el resultado de la medición general o a la vista de liquidación, las dirigirá por escrito a la Propiedad por conducto de la Dirección Facultativa, la cual las elevará a aquella con su informe. Si dicha reclamación no se produce dentro de los diez (10) días siguientes a la formalización de los documentos, se entenderá que se encuentra conforme con los resultados.

Dentro de los diez (10) días siguientes al cumplimiento del plazo de garantía, se procederá a la Recepción Definitiva de las obras, que se realizará de acuerdo con la reglamentación vigente al respecto y con lo establecido en este Pliego.

Sólo podrán ser definitivamente recibidas las obras ejecutadas conforme al Proyecto y en perfecto estado.

Una vez recibida definitivamente la obra, el Contratista responderá, en los plazos y términos legales, de los daños y perjuicios que se pudiesen originar por vicios ocultos de la construcción debidos a incumplimiento doloso del contrato por su parte.

6. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

6.1 Comprobación del replanteo

Las obras se considerarán comenzadas con el acto de Comprobación del Replanteo General de las Obras por parte de la Dirección Facultativa. La Comprobación del Replanteo se formalizará mediante un Acta que será firmada por la Propiedad, la Dirección Facultativa y el Contratista.

Serán de cuenta del Contratista todos los gastos derivados de la Comprobación del Replanteo.

La Dirección Facultativa reflejará en el Libro de Órdenes el acto de Comprobación del Replanteo, que autorizará con su firma y al que dará el "enterado" el Contratista, o su Delegado.

La Comprobación de Replanteo deberá incluir, al menos, el eje principal de los diversos tramos o partes de la obra y los ejes principales de las obras de fábrica, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalle.

Los vértices de triangulación y los puntos básicos de replanteo se materializarán en el terreno mediante hitos o pilares de carácter permanente. Asimismo, las señales niveladas de referencia principal serán materializadas en el terreno mediante dispositivos fijos adecuados.

El Contratista reflejará en un plano los resultados de las acciones anteriormente descritas, que se unirá al expediente de la obra.

6.2 Replanteo

A partir de la Comprobación del Replanteo, todos los trabajos de replanteo necesarios para la ejecución de las obras serán realizados por cuenta y riesgo del Contratista, excepto estipulación en contra del Pliego de Condiciones Particulares. La Dirección Facultativa, a requerimiento del Contratista, comprobará los replanteos efectuados por éste que no podrá iniciar la ejecución de ninguna obra o parte de ella sin haber obtenido la correspondiente aprobación del replanteo.

La aprobación por parte de la Dirección Facultativa de cualquier replanteo efectuado por el Contratista no supone la aceptación de posibles errores que pudiesen haberse cometido, ni disminuye la responsabilidad del Contratista en la ejecución de las obras. Los perjuicios que ocasionasen los errores de los replanteos realizados por el Contratista, deberán ser subsanados a cargo de éste, en la forma que indique la Dirección Facultativa.

El Contratista deberá proveer, a su costa, todos los materiales, aparatos y equipos, personal técnico especializado y mano de obra auxiliar, necesarios para efectuar los replanteos. También ejecutará, a su costa, los accesos, sendas, escalas, pasarelas y andamios necesarios para una correcta realización de estos trabajos.

El Contratista será responsable de la conservación, durante el tiempo de vigencia del Contrato, de todos los puntos topográficos materializados en el terreno y señales niveladas.

6.3 Programa de trabajos

El Contratista estará obligado a presentar un Programa de Trabajos que deberá proporcionar, como mínimo, la siguiente información:

Calendario, con estimación en días de los tiempos de ejecución de las distintas actividades, incluidas las operaciones y obras preparatorias, instalaciones y obras auxiliares y las de ejecución de las distintas partes o clases de obra definitiva.

Valoración mensual de la obra programada.

El Programa de Trabajos habrá de ser compatible con las fases y plazos establecidos en el contrato.

La Dirección Facultativa podrá acordar el no dar curso a las certificaciones de obra hasta que el Contratista haya presentado en debida forma el Programa de Trabajos, sin derecho a intereses de demora por retraso en el pago de estas certificaciones. Las instrucciones, normas o revisiones que dé o haga la Dirección Facultativa para el ajuste del Programa de Trabajos no eximen al Contratista de su responsabilidad respecto de plazos estipulados en el contrato.

Todos los gastos que originase el cumplimiento del presente apartado están incluidos en los precios del contrato, por lo que no serán objeto de abono independiente.

6.4 Accesibilidad y comunicación

Salvo prescripción específica en algún documento contractual, serán de cuenta del Contratista, todas las vías de comunicación y las instalaciones auxiliares para transporte tales como carreteras, sendas, pasarelas, planos inclinados, montacargas para el acceso de personas, transporte de materiales a la obra, etc.

El sistema básico de telecomunicaciones tales como aparatos telefónicos en oficinas, almacenes, talleres, laboratorios y servicios de primeros auxilios, será de cuenta del Contratista. La Dirección Facultativa podrá fijar el sistema básico de telecomunicaciones de la obra que será instalado mantenido y explotado por el Contratista.

El Contratista deberá realizar las acciones y utilizar los medios materiales y humanos necesarios para mantener accesibles todos los frentes de trabajo o tajos, ya sean de carácter provisional o permanente, durante el plazo de ejecución de las obras.

6.5 Instalaciones, maquinaria y medios auxiliares

Constituye obligación del Contratista el proyecto, la construcción, conservación y explotación, desmontaje, demolición y retirada de obra de todas las instalaciones auxiliares de obra y de las obras auxiliares, necesarias para la ejecución de las obras contratadas.

El Contratista está obligado, bajo su responsabilidad, a proveerse y disponer en obra de todas las máquinas, útiles y medios auxiliares necesarios para la ejecución de las obras, en las condiciones de calidad, capacidad, potencia y cantidad suficientes para cumplir todas las condiciones del contrato, así como a manejarlos, mantenerlos, conservarlos y emplearlos adecuada y correctamente.

Todos los gastos que se originen por el cumplimiento del presente apartado, se considerarán incluidos en los precios de las unidades correspondientes y, en consecuencia, no serán abonados separadamente.

El Contratista dispondrá en obra de una oficina amueblada, para la D.F. y la propiedad.

6.6 Recepción de materiales

Los materiales que hayan de constituir parte integrante de las unidades de la obra definitiva, los que el Contratista emplee en los medios auxiliares para su ejecución, así como los materiales de aquellas instalaciones y obras auxiliares que total o parcialmente hayan de formar parte de las obras objeto del contrato, tanto provisionales como definitivas, deberán cumplir las especificaciones establecidas en este Pliego.

El Contratista deberá presentar, para su aprobación, muestras, catálogos y certificados de homologación de los productos y materiales industriales y equipos identificados por marcas

o patentes. Si la Dirección Facultativa considerase que la información no es suficiente, podrá exigir la realización, a costa del Contratista, de los ensayos y pruebas que estime convenientes.

La calidad de los materiales que hayan sido almacenados o acopiados deberá ser comprobada en el momento de su utilización para la ejecución de las obras, mediante las obras y ensayos correspondientes, siendo rechazados los que en ese momento no cumplan las prescripciones establecidas. El Contratista suministrará, a sus expensas, las muestras necesarias.

Cuando los materiales no fueran de la calidad prescrita en este Pliego o en el Condiciones Particulares correspondiente, o no tuvieran la preparación en ellos exigida, o cuando a falta de prescripciones formales en los Pliegos se reconociera o demostrara que no fueran adecuados para su objeto, el Contratista deberá reemplazarlos, a su costa por otros que cumplan las prescripciones o que sean idóneos para el objeto a que se destinen. Los materiales rechazados, y los que habiendo sido inicialmente aceptados hayan sufrido deterioro posteriormente, deberán ser inmediatamente retirados de la obra por cuenta del Contratista.

6.7 Obras defectuosas y trabajos no autorizados

Hasta que tenga lugar la Recepción Definitiva, el Contratista responderá de la obra contratada y de las faltas que en ella hubiere, sin que sea eximente ni le dé derecho alguno la circunstancia de que la Dirección Facultativa haya examinado o reconocido, durante su construcción, las partes y unidades de la obra o los materiales empleados ni que hayan sido incluidos éstos y aquellas en las mediciones y certificaciones parciales.

Si se advirtiesen vicios o defectos en la construcción o se tuviesen razones fundadas para creer que existen ocultos en la obra ejecutada, la Dirección Facultativa podrá ordenar la demolición y reconstrucción de las unidades de obra afectadas. Los gastos originados correrán de cuenta del Contratista, con derecho de éste a reclamar en el plazo de diez (10) días, contados a partir de la notificación escrita de la Dirección Facultativa. Si se comprobase la existencia real de aquellos vicios o defectos, los gastos correrán a cargo del Contratista.

Si la Dirección Facultativa estima que las unidades de obra defectuosas y que no cumplen estrictamente las condiciones del contrato son, sin embargo, admisibles, puede proponer a la Propiedad la aceptación de las mismas, con la consiguiente rebaja de los precios; en caso contrario deberá procederse como en el párrafo anterior.

Cualquier trabajo, obra o instalación auxiliar, obra definitiva o modificación de la misma, que haya sido realizada por el Contratista sin conocimiento o la debida autorización de la Dirección Facultativa, será demolido o desmontado si esto lo exigiere. Serán de cuenta del Contratista los gastos que por ello se originen.

6.8 Trabajos nocturnos

Como norma general, el Contratista nunca considerará la posibilidad de realización de trabajos nocturnos en los diferentes planes de obra que presente a la Propiedad, salvo cuando se trate de trabajos que, por su naturaleza, no puedan ser interrumpidos o que necesariamente deban ser realizados por la noche.

No obstante, si el Contratista quiere contemplar dicha posibilidad, deberá hacerlo a nivel de oferta de licitación, acompañándola de los estudios y autorizaciones necesarios que le permitan realizar estos trabajos y de un Programa de Trabajos Parciales correspondiente a estas actividades, que se someterán a la aprobación de la Dirección Facultativa.

En caso de ser aceptada esta modalidad de trabajo, el Contratista instalará, por su cuenta y riesgo, los equipos de alumbrado necesarios para superar los niveles mínimos de iluminación que exigen las normas vigentes, a fin de que, bajo la exclusiva responsabilidad del Contratista, se satisfagan las adecuadas condiciones de seguridad y calidad de la obra, tanto en las zonas de trabajo como en las de tránsito, mientras duren los trabajos nocturnos.

6.9 Control de calidad

Tanto los materiales como la ejecución de los trabajos, las unidades de obra y la propia obra terminada deberán ser de la calidad exigida en el contrato, cumplirán las instrucciones de la

Dirección Facultativa y estarán sometidos, en cualquier momento, a los ensayos y pruebas que ésta disponga, para tal fin se contará con los servicios de un Laboratorio homologado de reconocida solvencia, para su contratación se contará con la aprobación de la Dirección Facultativa

Previamente a la firma del Acta de Comprobación de Replanteo deberá desarrollarse un Programa de Control de Calidad que abarcará los siguientes aspectos:

- Recepción de materiales.
- Control de Ejecución.
- Control de calidad de las unidades de obra.
- Recepción de la obra.

Servirán de base para la elaboración de este Programa las especificaciones contenidas en el Proyecto y las indicadas en el Pliego de Condiciones.

El Contratista deberá dar las facilidades necesarias para la toma de muestras y la realización de ensayos y pruebas "in situ", e interrumpir cualquier actividad que pueda impedir la correcta realización de estas operaciones. Asimismo, se responsabilizará de la correcta conservación

en obra de las muestras o probetas extraídas por los Laboratorios, hasta su traslado a las dependencias de éstos.

El Contratista deberá dar toda clase de facilidades a la Dirección Facultativa para examinar, controlar y medir toda obra que haya de quedar oculta, así como para examinar el terreno de cimentación antes de cubrirlo con la obra permanentemente. Si el Contratista ocultara cualquier parte de obra sin que la Dirección Facultativa lo hubiere autorizado, deberá descubrirla a su costa, si así lo ordena ésta.

Los gastos originados por el Control de Calidad de Obra programado según este apartado, serán por cuenta del Contratista en los límites previstos en la legislación vigente, y con independencia de que éste efectúe su propio control de calidad conforme a la reglamentación vigente. En general, salvo que en el contrato se especifique lo contrario, será el 1,5% que se deducirá de cada certificación.

6.10 Conservación durante la ejecución de las obras

El Contratista está obligado a conservar durante la ejecución de las obras, y hasta su Recepción Provisional, todas las obras objeto del Contrato, incluidas las correspondientes a las modificaciones que hayan sido introducidas en el Proyecto, así como las carreteras, accesos y servidumbres afectadas, desvíos provisionales, señalizaciones existentes y de obra, y cuantas obras, elementos e instalaciones auxiliares deban permanecer en servicio, manteniéndolos en buenas condiciones de uso.

Los trabajos de conservación no obstaculizarán el uso público o servicio de la obra, ni de las carreteras o servidumbres colindantes y, de producir afectación, deberán ser previamente autorizadas por la Dirección Facultativa y disponer de la oportuna señalización.

Inmediatamente antes de la Recepción Provisional de las obras, el Contratista habrá realizado la limpieza general de la obra, retirado las instalaciones auxiliares y, salvo expresa prescripción contraria de la Dirección Facultativa, demolido, removido y efectuado el acondicionamiento del terreno de las obras auxiliares que hayan de ser inutilizadas.

Los trabajos de conservación durante la ejecución de las obras, no serán de abono directo y se consideran incluidos en los precios del contrato, salvo que expresamente, para determinados trabajos, se prescriba lo contrario en el Pliego de Condiciones Particulares.

7. ABONO DE LA OBRA EJECUTADA

7.1 Medición de la obra ejecutada

La Dirección Facultativa realizará mensualmente la medición de las unidades de obra ejecutadas durante el periodo de tiempo anterior. El Contratista o su Delegado podrán

presenciar la realización de tales mediciones y, en su caso, colaborar o realizarlas conjuntamente con la Dirección.

Para las obras o partes de obra que hayan de quedar ocultas, el Contratista está obligado a avisar a la Dirección Facultativa con la suficiente antelación, a fin de que esta pueda disponer del tiempo necesario para realizar las mediciones, comprobaciones y toma de datos oportunos. A falta de aviso anticipado, cuya existencia corresponde comprobar al Contratista, queda éste obligado a aceptar las decisiones de la Dirección sobre el particular.

Cuando sea necesario, o así lo estime la Dirección Facultativa, se levantarán planos que definan las obras o partes de obra medidas, cuya conformidad suscribirá el Contratista o su Delegado.

Con carácter general todas las unidades de obra se medirán por su volumen, superficie, longitud o peso, expresados en unidades del sistema métrico, o por el número de unidades iguales tal como figuran especificadas en el Presupuesto de contrato.

Las mediciones se calcularán por procedimientos geométricos a partir de los datos de los planos del Proyecto y, cuando esto no sea posible, sobre planos acotados tomados directamente del terreno. A estos efectos solamente serán válidos los levantamientos que hayan sido aprobados por la Dirección Facultativa.

Con carácter general, no se incluirán en las mediciones mensuales de obra ejecutada las unidades cuya realización sea incompleta en el momento de procederse a la medición, o se encuentren pendientes de modificación por defectuosa ejecución.

7.2 Valoración de la obra ejecutada

La Dirección Facultativa, tomando como base las mediciones de obra ejecutada y los precios contratados, redactará, mensualmente, la correspondiente relación valorada al origen.

La obra ejecutada se valorará a los precios de ejecución material que figuren en letra en el cuadro de precios unitarios del contrato y, en su caso, a los precios contradictorios que hayan sido debidamente autorizados y teniendo en cuenta lo prevenido para abono de obras defectuosas, materiales acopiados, partidas alzadas y abonos a cuenta en general.

A partir del Presupuesto de Ejecución Material, elaborado de la forma expresada en el párrafo anterior, se obtendrá el Presupuesto de Ejecución por Contrata, incrementando aquél en los porcentajes establecidos en el contrato en concepto de Gastos Generales de Empresa y Beneficio Industrial del Contratista.

El Impuesto sobre el Valor Añadido que grave la ejecución de la obra, se obtendrá por aplicación del tipo que le corresponda sobre el Presupuesto de Ejecución por Contrata.

El Contratista tiene derecho al abono, con arreglo a los precios convenidos, de la obra que realmente ejecute con sujeción al Proyecto que sirvió de base a la licitación, a sus modificaciones aprobadas y a las órdenes dadas por escrito por la Dirección Facultativa. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el Proyecto o en el Presupuesto de Adjudicación del Contrato no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones, salvo en los casos de rescisión.

7.3 Certificaciones

Las certificaciones se expedirán mensualmente por triplicado, y serán comprensivas de meses naturales salvo la primera, la última y la de liquidación.

Para su elaboración se tomará como base la relación valorada y se tramitarán por la Dirección Facultativa.

Todas las certificaciones deberán recibir el conforme de la Dirección Facultativa antes de ser cursadas a la Propiedad.

Los abonos resultantes por certificaciones mensuales tendrán el carácter de pagos a cuenta, sujetos a las rectificaciones y variaciones que se produzcan en la liquidación final, sin que supongan en forma alguna recepción o aprobación, por parte de la Dirección Facultativa, de las obras que comprenden.

7.4 Precios unitarios de contrato

El Contratista deberá presentar el Presupuesto de contrato con Precios Unitarios de todas las partidas que figuran en el estado de mediciones que le haya sido entregado para licitación. Asimismo entregará, una vez adjudicada la obra y antes de la Comprobación de Replanteo, precios descompuestos, precios auxiliares y cuadros de precios de acuerdo con la documentación del proyecto base de la licitación.

En los precios unitarios de contrato se consideran incluidos los costes directos e indirectos precisos para la ejecución de la unidad correspondiente. A estos efectos:

Se consideran gastos directos:

- La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que intervienen directamente en la ejecución de la unidad de obra.
- Los materiales, a los precios resultantes a pié de obra, que quedan integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.

- Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria e instalaciones antes citadas.
- Se consideran costes indirectos:
- Los gastos de instalación de oficinas a pié de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, plantas de producción o extracción de materiales, etc.
- Los gastos de personal técnico y administrativo adscrito a la obra exclusivamente y los imprevistos.
- Todos los gastos que, por su concepto, sean asimilables a cualesquiera de los que se mencionan en los dos puntos anteriores.

Se consideran también incluidos en los precios unitarios de contrato, todos los trabajos, transportes, medios auxiliares y materiales que sean necesarios para la correcta ejecución y acabado de cualquier unidad de obra, aunque no figuren todos ellos especificados en la descomposición o descripción de los precios.

7.5 Partidas alzadas o unitarias

A los efectos de su valoración y abono se considerarán de dos tipos:

- Partidas alzadas a justificar: las susceptibles de ser medidas en unidades de obra, con precios unitarios.
- Partidas alzadas de abono íntegro: las que se refieren a trabajos cuya especificación figura en los documentos del proyecto y no son susceptibles de medición según los criterios de este Pliego.

Las partidas alzadas a justificar se abonarán a los precios de contrata, con arreglo a las condiciones de la misma y al resultado de las mediciones correspondientes.

Las partidas alzadas de abono íntegro se abonarán al Contratista en su totalidad, una vez terminados los trabajos y obras a que se refieran, de acuerdo con las condiciones del Contrato.

Las partidas alzadas de abono íntegro, deberán incluirse en los Cuadros de Precios que formen parte del Presupuesto de Contrato.

7.6 Precios contradictorios

Los precios unitarios que no figuren entre los de contrato se fijarán contradictoriamente entre la Dirección Facultativa y el Contratista.

El cálculo de los costes se basará en los de los precios contratados de unidades análogas, o en su defecto elaborando otros nuevos cuyo desglose de costes deberá ser acorde con la línea de los contratados.

Estos precios deberán estar aprobados por la Dirección Facultativa antes de que haya sido ejecutada la unidad correspondiente. Una vez fijados, con el visto bueno de ambas partes y, aceptados por la Propiedad, tendrán la misma consideración y tratamiento que los Precios Unitarios de Contrato, excepto en los casos en que, por circunstancias excepcionales o estipulaciones contractuales no se hayan elaborado con costes del momento en que se hizo la oferta.

7.7 Abonos a cuenta por materiales acopiados

En general no se abonarán acopios, salvo que se estipule lo contrario en la firma del contrato.

Cuando no haya peligro de que los materiales recibidos como útiles y almacenados en la obra o en los almacenes autorizados para su acopio, sufran deterioro o desaparezcan, se podrá abonar al Contratista hasta el 75% de su valor, incluyendo tal partida en la relación valorada mensual y teniendo en cuenta este adelanto para deducirlo más tarde del importe total de las unidades de obra en que queden incluidos tales materiales.

Para realizar dicho abono será necesaria la constitución previa del correspondiente aval, de acuerdo con lo establecido al respecto en el Contrato.

El porcentaje de abono se fijará en función del riesgo, tras una ponderación justificada del mismo, y de acuerdo con las condiciones estipuladas en el contrato.

7.8 Penalidades

El Contratista está obligado a cumplir los plazos parciales fijados para la ejecución sucesiva de contrato y el general para su total realización.

Si el Contratista, por causas imputables al mismo, hubiera incurrido en demora respecto de los plazos parciales de manera que haga presumir racionalmente la imposibilidad del cumplimiento del plazo final o éste hubiera quedado incumplido, la Propiedad podrá optar por la resolución del Contrato o la ampliación del plazo con la imposición de las penalidades que se hayan estipulado en el mismo.

Los importes de las penalidades por demora se harán efectivos mediante deducción de los mismos en las certificaciones de obra que se produzcan, salvo determinación contractual distinta al respecto.

Si el retraso fuera producido por motivos no imputables al Contratista, y éste ofreciera cumplir sus compromisos dándole prórroga del tiempo que se le había designado, se

concederá por la Propiedad un plazo que será, por lo menos, igual al tiempo perdido a no ser que el Contratista pidiera otro menor.

La petición de prórroga por parte del Contratista deberá acompañarse de las razones por las que estime no le es imputable y señalando el tiempo probable de su duración a los efectos de que la Propiedad pueda oportunamente, y siempre antes de la terminación del plazo del contrato, resolver sobre la prórroga del mismo, y sin perjuicio de que una vez desaparecida la causa se reajuste el plazo prorrogado al tiempo realmente perdido.

7.9 Garantías y fianzas

Las garantías y fianzas de todo tipo que se consideren necesarias por abonos de acopios, daños causados por demoras, etc., serán las que se estipulen en contrato.

Si no se ha establecido otro tipo de fianza en el contrato, del importe de cada certificación se deducirá un cinco (5%) por ciento que será retenido por la Propiedad en concepto de garantía, hasta la Liquidación Final de la obra. La devolución de la fianza no se hará si no se ha acreditado ante la Propiedad que no existe reclamación alguna contra el Contratista por daños y perjuicios derivados de la ejecución de la obra que son por cuenta del Contratista, y sin perjuicio de lo regulado con respecto al Plazo de Garantía en este Pliego.

8. CIMENTACIONES. ACEROS. MALLAZOS

8.1 Descripción

Armaduras pasivas formadas por alambres de acero, corrugados o lisos, atadas con alambre o electrosoldadas, formando malla.

8.2 Componentes

Alambres de acero liso, LB 500 T, con diámetros de 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 12 mm.

Alambres de acero corrugado, B 500 T, con diámetros de 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5, 10, 10.5, 11, 11.5, 12 y 14 mm.

8.3 Condiciones previas

Antes de su utilización, sobre todo después de un largo almacenaje, se examinará el estado de su superficie, teniendo que estar limpias y libres de óxido, sin sustancias extrañas ni materiales que perjudiquen su adherencia.

Las barras y alambres no presentarán defectos superficiales, grietas ni sopladuras.

Cada panel debe llegar a la obra con una etiqueta en la que se haga constar la marca del fabricante y la designación de la malla.

8.4 Ejecución

Las mallas electrosoldadas son aquéllas que cumplen las condiciones prescritas en la NORMA UNE 36.092:96.

Se entiende por malla corrugada la fabricada con alambres corrugados que cumplen las condiciones de adherencia especificadas en la EHE.

Se entiende por malla lisa la fabricada con alambres lisos trefilados que no cumplen las condiciones de adherencia de los alambres corrugados.

8.5 Control

En la recepción, comprobación de las marcas de identificación de los tipos de barras y diámetros según la denominación de la EHE.

Los productos de acero deberán presentar la siguiente documentación:

- Productos no certificados:
Resultado de los ensayos correspondientes a:
 - Composición química.
 - Características mecánicas.
 - Características geométricas.
 - Justificante de que cumplen los requisitos de los apartados 31.2,31.3 ó 31.4 de la EHE, según los casos.
 - Certificado de adherencia. -Todos ellos emitidos por un organismo acreditado (RD 2200/95). -Certificado de Garantía del fabricante, firmado por persona física.
- Productos certificados:
 - Documentación acreditativa de que se está en posesión de un distintivo reconocido o CC-EHE (EHE, 1.1).
 - Justificante de que se cumplen los requisitos de los apartados 31.2, 31.3 ó 31.4 de la EHE, según los casos.
 - Certificado de adherencia. -Emitidos por un organismo acreditado (RD 2200/95). -Certificado de Garantía del fabricante, firmado por persona física.

Se establecen dos niveles de ENSAYOS para controlar la calidad del acero:

- Nivel reducido:

No se podrá utilizar en:

- Obras de hormigón pretensado.
 - Con acero no certificado.
 - Con armaduras activas.
- Se podrá utilizar:
 - En obras de poca importancia.
 - Cuando haya dificultades para realizar los ensayos.

Además:

- El acero deberá estar controlado antes del hormigonado.
- La resistencia de cálculo f_{yd} se limitará al valor $0,75 f_{yk}/\gamma_s$.

Comprobaciones:

- Sección equivalente. Dos comprobaciones por cada partida de material suministrado.
- Comprobar que no se forman grietas en las zonas de doblado y ganchos de anclaje, mediante inspección en obra. NIVEL NORMAL:

Se podrá utilizar en armaduras activas y pasivas.

- Comprobaciones para cada diámetro (2 veces durante la obra):
 - Límite elástico.
 - Carga de rotura.
 - Alargamiento de rotura en armaduras pasivas.
 - Alargamiento bajo carga máxima en armaduras activas.
 - Arrancamiento del nudo según UNE 36462:80.
- Comprobación de la soldabilidad:

- Comprobar que el acero es soldable según UNE 36068:94. En la soldadura a tope (sobre 6 probetas consecutivas de la misma barra de los diámetros máximo y mínimo):
- Tres ensayos de tracción.
- Con probeta central soldada.
- Con probetas extremas sin soldar.
- Tres ensayos de doblado – desdoblado (sobre las 3 probetas soldadas). En la soldadura por solapo (sobre 3 uniones con diámetros más gruesos y sobre la combinación del más fino y más grueso).
- Tres ensayos de tracción sobre probetas soldadas.
- Tres ensayos de tracción sobre probetas sin soldar del diámetro más fino. En la soldadura en cruz (sobre 3 probetas de una combinación del diámetro más grueso con el más fino):
- Tres ensayos de tracción del diámetro más fino soldado al más grueso.
- Tres ensayos de tracción del diámetro fino sin soldar. En otras soldaduras, lo que disponga la Dirección de Obra.

8.6 Medición y valoración

Se medirán y valorarán Kg. de barra de acero colocada, incluso parte proporcional de despuntes, alambres, etc.

8.7 Normativa

- EHE NORMAS UNE DEL ACERO PARA HORMIGON ESTRUCTURAL
- UNE 36068 : 94 – Barras corrugadas.
- UNE 36092 : 96 – Mallas electrosoldadas.
- UNE 36739 : 95 – EX Armaduras básicas.
- UNE 36094 : 97 – Alambres de pretensado.
- UNE 7474 : 92 – Barras de pretensado.
- UNE 360094:97 – Cordones de pretensado.

9. CIMENTACIONES. HORMIGONES AUXILIARES. HORMIGÓN DE LIMPIEZA

9.1 Descripción

Mezcla de cemento, arena, grava y agua, con una resistencia igual o menor a 125 Kg/cm², bien preparado o de elaboración, sobre la que apoyarán las armaduras de cimentación.

Se trata de un hormigón no estructural, por lo que no le afecta la nueva EHE, y sigue vigente en este caso la EH-91.

9.2 Componentes

Hormigón:

- H-50: 50 Kg/cm²
- H-100: 100 Kg/cm²
- H-125: 125 Kg/cm²

9.3 Condiciones previas

Se habrá efectuado el refino y limpieza del fondo excavado, regularizándolo y compactándolo.

En ningún caso se tolerará la colocación en obra de masas que acusen un principio de fraguado.

9.4 Ejecución

Los hormigones de limpieza serán de consistencia plástica o fluida, con un tamaño máximo de árido de 40 mm. y unos espesores que serán fijados por el Director de Obra, quedando siempre enrasado con la cota prevista para la base de la cimentación.

En el vertido y colocación de la masa, se adoptarán las debidas precauciones para evitar la disgregación de sus elementos.

No se efectuará el hormigonado en tanto no se obtenga la conformidad de la Dirección de Obra.

9.5 Control

Se habrán colocado toques o maestras para establecer el nivel del hormigón de limpieza. Se comprobará que el nivel superior del hormigón de limpieza sea la cota $\pm 0,00$. Se mirará que el grosor, planeidad y horizontalidad de la capa sean las especificadas por el

Director de Obra. El hormigón de limpieza dará según su consistencia los siguientes asientos en el cono de Abrams: -Consistencia plástica: 3 a 5 cm., con una tolerancia de ± 1 cm. - Consistencia fluida: 10 a 15 cm., con una tolerancia de ± 2 cm.

9.6 Medición y valoración

Se medirá y valorará por m³ de hormigón de limpieza realmente vertido

9.7 Normativa

- EH-91
- EHE

10. CIMENTACIONES. HORMIGONES ARMADOS Y ENCOFRADOS. ZAPATAS

10.1 Componentes

Hormigón para armar. Acero B-400-S y B-500-S. Agua. Madera para encofrados. Separadores de armaduras Aditivos si son necesarios y siempre con permiso expreso de la Dirección de Obra.

10.2 Descripción

Elemento asentado en el terreno, de forma prismática, poco esbelta y de planta normalmente cuadrada, de hormigón armado, con encofrado o sin él, para cimentación de soportes verticales pertenecientes a estructuras de edificaciones, sobre suelos homogéneos de estratigrafía sensiblemente horizontal.

10.3 Condiciones previas

Informe geotécnico, según las NTE-CEG, con indicación de las características geotécnicas.

Plano acotado de la posición de los ejes, contornos perimetrales y arranques de elementos estructurales, con indicación de la profundidad estimada del plano de apoyo de las zapatas. Tipo de construcción, cimentación y profundidad estimada del plano de apoyo de las edificaciones colindantes.

Situación y características de las posibles instalaciones existentes en el terreno sobre el que se actúa. Comprobación de la capacidad portante del suelo en relación con la prevista y aprobación de la misma por la Dirección de Obra.

Se dejarán previstos los pasos de tuberías y encuentros con arquetas, según Proyecto y las instrucciones de la Dirección de Obra. Se colocará, previamente al hormigonado, la toma de tierra de la estructura.

10.4 Requisitos de dosificación

La EHE exige que el suministrador del hormigón sea capaz de que éste posea las características definidas en el proyecto en cuanto a:

- Adecuación al tipo de función (Hormigón armado HA)
- Resistencia, según la clase de exposición ambiental.
- Docilidad (consistencia o asiento).
- Durabilidad.

10.5 Requisitos del pedido

En general, cuando se pide hormigón hay que especificar al suministrador lo siguiente:

- La consistencia.
- El tamaño máximo del árido.
- El tipo de ambiente.
- El tipo de función (armado).

Además, la EHE establece que el pedido ha de realizarse bajo la forma de “propiedades” o de “dosificación”. Cada forma de pedido tiene unas características especiales en lo que respecta a las responsabilidades respectivas del suministrador y del solicitante:

- Propiedades: En este caso, el suministrador establece la dosificación, pero ha de garantizar las siguientes características del mismo:
- Resistencia característica especificada. -La resistencia mínima del hormigón en masa será $f_{ck} > 20 \text{ N/mm}^2$ -La resistencia mínima del hormigón armado será $f_{ck} > 25 \text{ N/mm}^2$
- Docilidad. -Tamaño máximo del árido. -Contenidos de cemento y relación agua/cemento compatible con el ambiente y el tipo de función del hormigón. - Dosificación: En este caso, el petionario es responsable de la congruencia de las características especificadas de: -Tamaño máximo del árido.
- Docilidad. -Contenido de cemento por kg/m^3 .

Además, el suministrador garantizará la relación agua/cemento empleada.

10.6 Condiciones de transporte

No transcurrirá más de una hora y media entre la mezcla del agua con el cemento y los áridos, y la colocación del hormigón. Este plazo hay que acortarlo con tiempo caluroso.

Si el hormigón se amasa en central completamente, con transporte a obra, el volumen del hormigón transportado no será mayor del 80% del volumen del tambor de transporte.

Si el hormigón se amasa parcial o totalmente durante el transporte, en amasador móvil, el volumen de hormigón no excederá del 67% de la capacidad del tambor.

10.7 Condiciones de ejecución

En general:

- El hormigonado deberá ser autorizado por la Dirección de Obra.
- Se evitará la segregación del hormigón.
- El espesor máximo de las tongadas estará relacionado con los medios de compactación empleados.
- Cuando se emplee vibrador de superficie, el espesor de la tongada acabada no será mayor de 20 cm.
- Los vibradores de encofrado deberán ser debidamente estudiados y justificados.
- El revibrado deberá ser estudiado, justificado y autorizado por la Dirección de Obra.
- Los modos de compactación recomendados por la Comisión Permanente del Hormigón son:
 - Vibrado enérgico
 - Consistencia SECA.
 - Vibrado normal
 - Consistencia PLÁSTICA y BLANDA
 - Picado con barra
 - Consistencia FLUIDA.
- Las juntas de hormigonado se situarán en dirección normal a las tensiones de compresión.

- Las juntas de hormigonado se establecerán preferentemente sobre los puntales de la cimbra.
- No se hormigonará sobre la junta sin su previa limpieza.
- No se hormigonará sobre las juntas de hormigonado sin la aprobación de la Dirección de Obra.

En tiempo frío:

- La temperatura de la masa de hormigón antes del vertido no será menor de 5° C.
- No se vertirá hormigón sobre encofrados o armaduras a temperatura inferior a 0° C.
- No se podrá hormigonar sobre hormigón que se haya helado.
- Se suspenderá el hormigonado siempre que se prevea que la temperatura ambiente bajará de 0° C en las 48 horas siguientes.
- El empleo de aditivos anticongelantes precisará la autorización expresa de la Dirección de Obra.

En tiempo caluroso:

- Se evitará la evaporación del agua de amasado.
- Los moldes deberán estar protegidos del soleamiento.
- Una vez vertido el hormigón se protegerá del sol.
- Se suspenderá el hormigonado cuando la temperatura sea mayor de 40° C o haya viento excesivo.

10.8 Condiciones de curado

Durante el fraguado y primer período de endurecimiento, deberá asegurarse un adecuado curado. Se podrá efectuar por riego directo que no produzca deslavado.

El agua empleada cumplirá las especificaciones de la EHE. Se podrán utilizar como alternativa, protecciones que garanticen la retención de la humedad inicial y no aporten sustancias nocivas.

Las técnicas especiales (vapor) precisarán de la autorización de la Dirección de Obra. Para la duración del curado, la Comisión Permanente del Hormigón, proporciona la fórmula $D = KLD_0 + D_1$ en donde: D = duración mínima en días. K = coeficiente de ponderación

ambiental. L = coeficiente de ponderación térmica. D_0 = parámetro básico de curado. D_1 = parámetro en función del tipo de cemento.

Las condiciones de curado se definen en LENTA, MEDIA, RAPIDA y MUY RAPIDA, en función de la clase de cemento y la relación agua cemento.

A su vez, y según las condiciones ambientales los hormigones se designan como A, B y C:

A: No expuesto al sol ni al viento y con $HR > 80\%$

B: Expuesto al sol (intensidad media), a un viento de velocidad media y HR entre el 50% y el 80%.

C: Soleamiento fuerte, velocidad alta del viento y $HR < 50\%$.

10.9 Requisitos de las zapatas

A continuación figuran las dimensiones mínimas de las zapatas de cimentación:

ZAPATAS DE HORMIGON EN MASA

- El canto mínimo en el borde de la zapata será mayor o igual a 35 cm.

ZAPATAS DE HORMIGON ARMADO

- Canto mayor o igual a 25 cm. si se apoyan en el terreno.
- Las armaduras de todas las caras no distarán entre sí más de 30 cm.

10.10 Control

Se asigna a la Propiedad la responsabilidad de asegurar la realización del control de recepción (externo) de la ejecución.

10.10.1 Documentación

Hoja de suministro del hormigón fabricado en central, tanto si la instalación está en la obra como si está en el exterior, en la que debe comprobarse lo siguiente:

- Que la central ha declarado su tipo.
- Que figura claramente la designación del hormigón si ha sido solicitado por propiedades, es decir si es hormigón armado, la resistencia especificada, la consistencia, el tamaño máximo del árido y el tipo de ambiente.
- Que esta designación se corresponde con la especificada en el proyecto y que debe figurar en los planos.

- Que el contenido de cemento es coherente con el tipo ambiental declarado en la designación.
- Que la relación agua/cemento es coherente con el tipo ambiental declarado en la designación.
- Coherencia entre el tipo de cemento y empleo de adiciones.

10.11 Inspecciones

Hay que dividir la estructura de la obra en lotes a los que aplicar las inspecciones de cada nivel de control. El tamaño del lote está en función del tipo de obra y son los siguientes:

- Edificios: 500 m², sin rebasar las dos plantas.
- Puentes, acueductos, túneles, etc.: 500 m² de planta, sin rebasar los 50 m.
- Obras de grandes macizos: 250 m³.
- Chimeneas, torres, pilas, etc.: 250 m³ sin rebasar los 50 m.
- Piezas prefabricadas de tipo lineal: 500 m. de bancada.
- Piezas prefabricadas de tipo superficial: 250 m.

La EHE establece tres niveles para el control de la ejecución que dependen del coeficiente de mayoración de acciones y que son:

- NIVEL REDUCIDO: Cuando $\gamma_G = 1,60$ (acciones permanentes), y $\gamma_Q = 1,80$ (acciones variables). Este nivel de control es de aplicación cuando no existe un seguimiento continuo y reiterativo de la obra. Hay que realizar al menos una inspección por cada lote en que se ha dividido la obra.
- NIVEL NORMAL: Cuando $\gamma_G = 1,50$ (acciones permanentes), y $\gamma_Q = 1,60$ (acciones variables). Este nivel de control externo es de aplicación general y exige la realización de al menos dos inspecciones por cada lote.
- NIVEL INTENSO: Cuando $\gamma_G = 1,35$ (acciones permanentes), y $\gamma_Q = 1,50$ (acciones variables). Este nivel de control, además del control de recepción o externo, exige que el constructor posea un sistema de calidad propio, auditado de forma externa, y que la elaboración de la ferralla y los elementos prefabricados, en caso de existir, se realicen en instalaciones industriales fijas y con un sistema de certificación voluntario. Este nivel exige la realización de tres inspecciones por cada lote.

10.12 Pruebas de carga

La EHE establece tres tipos de prueba de carga bajo un Proyecto de Prueba de Carga, y dichas pruebas son:

- **REGLAMENTARIAS:** Este tipo de pruebas de carga son las establecidas en los Reglamentos. Las cargas son las de servicio.
- **INFORMACION COMPLEMENTARIA:** Este tipo de pruebas de carga son las realizadas cuando se han producido cambios en la estructura o ha sido detectado algún tipo de problema. Salvo que se cuestione la seguridad de la estructura, las cargas son las de servicio.
- **EVALUACION DE LA CAPACIDAD RESISTENTE:** Este tipo de pruebas de carga son las realizadas cuando se precisa evaluar la seguridad de la estructura. Debe realizarse por personal muy especializado. Las cargas superan a las de servicio y llegan hasta 0,85 (1,35 G + 1,5 Q). No debe utilizarse en estructuras de menos de 56 días de edad.

10.13 Criterios de aceptación y rechazo

Se rechazarán:

- -Los moldes y encofrados de aluminio.
- El uso de gasóleo, grasa corriente o cualquier otro producto análogo.
- La ferralla que no sea conforme con los planos del Proyecto.
- Las armaduras con pintura, grasa o cualquier otra sustancia nociva que afecte al hormigón o a la adherencia.
- Las armaduras que presenten una pérdida de peso mayor del 1% después de un cepillado.
- La ferralla soldada que no esté elaborada en instalaciones fijas con acero soldable y según UNE 36832:97.
- La fijación de estribos por puntos de soldadura una vez colocada la armadura en el encofrado.
- El empleo de aceros de distinto tipo en una misma armadura principal.
- La presencia de aceros de distinto límite elástico en la misma sección, sin que lo indique el Proyecto expresamente.
- La armadura cuyo recubrimiento no esté asegurado por la colocación de separadores.

- La colocación de separadores o calzos que no sean fabricados ex profeso para esta función.
- El desdoblado en caliente, aún habiendo sido autorizado, si no se protege el hormigón de las altas temperaturas.
- Las altas concentraciones de barras dobladas.
- Los estribos que presenten un principio de fisuración en los codos de doblado.
- Las armaduras en dos capas en las que no coincidan verticalmente las barras.
- Las armaduras cuyas barras no cumplan las distancias entre sí y el encofrado.
- Los anclajes curvos cuyos diámetros de curvado sean menores a los establecidos en la EHE.
- Los empalmes por solapo que no incluyan armadura transversal repartida a lo largo del empalme con sección igual a la mayor de las barras solapadas.
- Los solapos de grupos de cuatro barras.
- Los solapos de más del 50% en una misma sección de mallas electrosoldadas, en caso de cargas dinámicas.
- Las soldaduras en zonas de fuerte curvatura.
- Las soldaduras sobre barras galvanizadas o con recubrimiento de resina epoxi.
- La soldadura en período de intenso viento, y cuando llueva o nieve.
- Las soldaduras sobre superficies a temperatura $< 0^{\circ}$ C.
- La soldadura sobre superficies que no estén limpias y secas.
- Las partidas de hormigón preparado en que la carga de hormigón supere el 80% del total del volumen del tambor.
- Las amasadas de hormigón que no cumplan con la consistencia en el momento de la descarga.
- Las cargas de hormigón de central que no vengán acompañadas de la hoja de suministro.
- Las cargas de hormigón de central en cuya hoja de suministro no coincidan los datos fundamentales con la designación del proyecto y la EHE.

- La producción de hormigón no elaborado en central que no cuente con el libro de dosificaciones.
- Las amasadas en las que el cemento no haya sido dosificado por peso.
- Las amasadas de hormigón que presenten principio de fraguado.
- Las cargas de hormigón preparado con más de 90 minutos desde la mezcla inicial.
- Las amasadas a las que se les añada agua u otra sustancia nociva no prevista de antemano entre las partes y siempre de acuerdo con la EHE.

10.14 Medición y valoración

Se medirá y valorará el hormigón por m³, incluyéndose la parte proporcional según su cuantía de las armaduras, transporte, vertido, vibrado, encofrado y desencofrado y parte proporcional de medios mecánicos, grúas, etc., incluyendo asimismo los medios auxiliares.

10.15 Normativa

- UNE 36068 : 94 – Barras corrugadas.
- UNE 36092 : 96 – Mallas electrosoldadas.
- UNE 36739 : 95 – EX Armaduras básicas.
- UNE 36094 : 97 – Alambres de pretensado.
- UNE 7474 : 92 – Barras de pretensado.
- UNE 360094:97 – Cordones de pretensado.
- NTE-CSZ-86 – Cimentaciones, zapatas
- NTE-IEP-86 – Puesta a tierra

11. ELECTRICIDAD. INSTALACIONES DE ALTA TENSIÓN. LÍNEAS SUBTERRÁNEAS

11.1 Objeto

Este documento establece los criterios que han de cumplirse en la ejecución de líneas subterráneas a AT hasta 30 kV.

11.2 Formas de canalizaciones

La ejecución de las instalaciones de líneas subterráneas de AT se realizará básicamente en los siguientes tipos de canalizaciones:

- Canalizaciones enterradas
- Canalizaciones entubadas por aceras
- Cruces por calzadas

11.3 Trazado

Las canalizaciones, salvo casos de fuerza mayor, discurrirán por terrenos de dominio público, bajo las aceras, evitándose ángulos pronunciados.

El trazado será lo más rectilíneo posible, paralelo en toda su longitud a bordillos o fachadas de los edificios principales.

Antes de proceder al comienzo de los trabajos, se marcarán en el pavimento de las aceras o en el terreno, los lugares donde se abrirán las zanjas, señalando tanto su anchura como su longitud y las zonas donde se dejarán puentes para la contención del terreno.

Si hay posibilidad de conocer las acometidas de otros servicios a las fincas construidas o trazados de otras líneas se indicarán sus situaciones, con el fin de tomar las precauciones debidas.

Antes de proceder a la apertura de las zanjas se abrirán calas de reconocimiento para confirmar o rectificar el trazado previsto.

Al marcar el trazado de las zanjas se tendrá en cuenta el radio mínimo que durante las operaciones del tendido, deben tener las curvas en función de la sección del conductor o conductores que se vayan a canalizar.

11.4 Seguridad

Las zanjas se realizarán cumpliendo todas las medidas de seguridad personal y vial indicadas en las Ordenanzas Municipales, Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Código de la Circulación, etc.

Todas las obras deberán estar perfectamente señalizadas y balizadas, tanto frontal como longitudinalmente (chapas, tableros, valla, luces,...). La obligación de señalizar alcanzará, no sólo a la propia obra, sino aquellos lugares en que resulte necesaria cualquier indicación como consecuencia directa o indirecta de los trabajos que se realicen.

11.5 Materiales

11.5.1 Cables

Los cables instalados cumplirán lo especificado en la Norma UNE 21022 y serán del tipo indicado en el proyecto.

Su sección será la indicada en el proyecto.

11.5.2 Terminales

Los terminales serán del tipo designado por el fabricante para la sección de los cables del proyecto.

Estarán de acuerdo con la naturaleza del aislamiento del cable.

Serán de exterior o enchufables.

11.5.3 Empalmes

Serán del tipo designado por el fabricante para la sección de los cables del proyecto.

Estarán de acuerdo con la naturaleza del aislamiento de los cables a empalmar.

11.5.4 Cintas de identificación y abrazaderas de agrupación de cables

Las cintas de identificación serán de color amarillo, marrón o verde. Las abrazaderas de agrupación de cables serán de material sintético y de color negro.

11.5.5 Arena

La arena que se utilice para la protección de los cables será limpia, suelta, áspera, crujiente al tacto, exenta de sustancias orgánicas, arcilla o partículas terrosas. Si fuese necesario, se tamizará o lavará convenientemente. (Tamiz 032 UNE)

Se utilizará indistintamente de mina o de río, siempre que reúna las condiciones señaladas anteriormente; las dimensiones de los granos serán de 3 mm como máximo.

Estará exenta de polvo, para lo cual no se utilizará arena con granos de dimensiones inferiores a 0,2 mm.

11.5.6 Ladrillo para fábrica

Los ladrillos empleados para la ejecución de fábricas serán de ladrillo cocido y de dimensiones regulares, y a ser posible enteros.

11.5.7 Tubos termoplásticos

Los tubos tendrán un diámetro mínimo de 160 mm y serán de material termoplástico (libre de halógenos).

11.5.8 Hormigones

Los hormigones serán preferentemente prefabricados en planta y cumplirán las prescripciones de la Instrucción Española para la ejecución de las obras de hormigón EH 90.

El hormigón a utilizar en los rellenos y asientos de los tubos será del tipo HM-20.

11.5.9 Soporte de terminales y pararrayos

Los soportes de los terminales y de los pararrayos tendrán la calificación de Material Aceptado.

11.5.10 Tornillería de conexión

La tornillería será de paso, diámetro y longitud indicada para cada terminal.

Estarán protegidos contra la oxidación por una protección adecuada.

11.5.11 Loseta hidráulica

La loseta hidráulica empleada en la reposición de pavimentos será nueva y tendrá la textura y tonos del pavimento a reponer.

11.5.12 Asfaltos

Los pavimentos de las capas de rodadura en las calzadas serán de las mismas características de los existentes, en cuanto a clases, aglomerados en frío o caliente, etc. o tipo de cada uno de estos (cerrado, abierto...).

11.6 Ejecución

11.6.1 Excavación

El constructor, antes de empezar los trabajos de excavación en apertura de zanjas, determinará las protecciones precisas, tanto de la zanja como de los pasos que sean necesarios. Decidirá las chapas de hierro que hayan de colocarse sobre la zanja para el paso de vehículos. Todos los elementos de protección y señalización los tendrá dispuestos antes de dar comienzo a la obra.

Las zanjas se abrirán en terrenos de dominio público, preferentemente bajo acera.

Las dimensiones de las zanjas serán las definidas en el proyecto.

En los casos especiales, debidamente justificados, en que la profundidad de la colocación de los conductores sea inferior al 60% de la indicada en el proyecto, se protegerán mediante tubos, conductos, chapas, etc., de adecuada resistencia mecánica.

En los cruzamientos y paralelismos con otros servicios, se atenderá a lo dispuesto por los Organismos Oficiales, propietarios de los servicios a cruzar. En cualquier caso, las distancias a dichos servicios serán, como mínimo, de 25 cm.

No se instalarán conducciones paralelas a otros servicios coincidentes en la misma proyección vertical. La separación entre los extremos de dichas proyecciones será mayor de 30 cm.

En los casos excepcionales en que las distancias mínimas indicadas anteriormente no puedan guardarse, los conductores deberán colocarse en el interior de tubos de material incombustible de suficiente resistencia mecánica.

En los trazados curvos, la zanja se realizará de forma que los radios de los conductores, una vez situados en sus posiciones definitivas, sean como mínimo 15 veces el diámetro del cable.

Los cruces de las calzadas serán rectos, a ser posible perpendiculares al eje de las mismas.

La zanja se realizará lo más recta posible. En el caso de electrificación de zonas urbanas, el trazado se mantendrá paralelo en toda su longitud a los bordillos de las aceras o a las fachadas de los edificios principales.

11.6.2 Retirada de tierras

La tierra sobrante, así como los escombros del pavimento y firme se llevarán a escombrera o vertedero, debidamente autorizados con el canon de vertido correspondiente.

11.6.3 Rellenos de zanjas con tierras, zahorras, u hormigón

Una vez colocadas las protecciones del cable, se rellenará toda la zanja con tierra de la excavación o de préstamo, según el caso, apisonada, debiendo realizarse los 25 primeros cm de forma manual. Sobre esta tongada se situará la cinta de atención al cable.

El cierre de las zanjas se realizará por tongadas, cuyo espesor original sea inferior a 25 cm, compactándose inmediatamente cada una de ellas antes de proceder al vertido de la tongada siguiente.

En las zanjas realizadas en aceras o calzadas con base de hormigón, el relleno de la zanja con tierras compactas, no sobrepasará la cota inferior de las bases de hormigón.

El material de aportación para el relleno de las zanjas tendrá elementos con un tamaño máximo de 10 cm, y su grado de humedad será el necesario para obtener la densidad exigida, una vez compactado.

11.6.4 Rellenos de zanjas con tierras u hormigón

El relleno de zanjas en cruces se realizará con zahorras, o con hormigón HM-20, hasta la cota inferior del firme.

11.6.5 Asiento de cables con arena (tamiz 032 UNE)

En el fondo de las zanjas se preparará un lecho de arena de las características indicadas, de 10 cm de espesor, que ocupe todo su ancho.

Una vez terminado el tendido, se extenderá sobre los cables colocados, una segunda capa de arena de 10 cm de espesor, como mínimo, que ocupe todo el ancho de la zanja.

11.6.6 Asientos de tubos con hormigón HM-20

El número de tubos y su distribución en capas serán los indicados en el proyecto, y estarán hormigonados en toda su longitud, o con asiento de arena.

Una vez instalados, los tubos no presentarán en su interior resaltes que impidan o dificulten el tendido de los conductores, realizándose las verificaciones oportunas (paso de testigo).

Antes de la colocación de la capa inferior de los tubos, se extenderá una tongada de hormigón HM-20 y de 5 cm de espesor que ocupe todo el ancho de la zanja; su superficie deberá quedar nivelada y lo más lisa posible.

Sobre esta tongada se colocarán todos los tubos, realizando los empalmes necesarios; los tubos quedarán alineados y no presentarán en su interior resaltes ni rugosidades.

El conjunto de los tubos se cubrirá con hormigón HM-20 hasta una cota que rebase la superior de los tubos en, al menos, 10 cm, y que ocupe todo el ancho de las zanjas

11.6.7 Colocación cinta señalización

En las canalizaciones, salvo en los cruces en calzadas, se colocará una cinta de polietileno. Se colocarán a lo largo de la canalización, en número y distribución, según lo indicado en el proyecto.

11.6.8 Colocación protección mecánica

Sobre el asiento del cable en arena se colocará una protección mecánica de un tubo termoplástico de un diámetro de 160 mm o un tubo y una placa cubrecable, según el caso. Se colocará la protección mecánica a lo largo de la canalización en número y distribución, según lo indicado en el proyecto.

11.6.9 Colocación marco y tapa

En la cabeza de las arquetas registrables se colocarán los marcos y tapas indicadas en el proyecto, debidamente enrasados con el pavimento correspondiente.

Los marcos se recibirán con mortero M250.

11.6.10 Colocación de arquetas y calas de tiro

En los cambios de dirección de las canalizaciones entubadas se dispondrá preferentemente de calas de tiros y excepcionalmente de arquetas ciegas, arquetas de hormigón o ladrillo, de dimensiones necesarias para que el radio de curvatura de tendido sea, como mínimo, 20 veces el diámetro exterior del cable. No se admitirán ángulos inferiores a 90°, y aún éstos se limitarán a los indispensables. En general los cambios de dirección se harán con ángulos grandes.

Las arquetas prefabricadas de hormigón se colocarán sobre el suelo acondicionado previamente, y debidamente niveladas.

Los módulos estarán sellados por medio de juntas.

11.6.11 Perforaciones horizontales (topo)

Las perforaciones en horizontal por medios mecánicos mediante máquina especial adecuada, se realizarán de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El número de tubos y diámetro de estos será el indicado en el proyecto.

11.6.12 Perforaciones de muros (hormigón o mampostería)

La rotura de muros se realizará con maquinaria apropiada (compresor/martillo), colocando tubos rectos termoplásticos, separados entre sí 2 cm y sobre paredes del hueco abierto 5 cm, recibiendo los tubos con mortero M250.

11.6.13 Colocación de tapón para tubo

En la boca de los tubos termoplásticos sin ocupación de cables se colocarán los tapones correspondientes, debidamente presionados en su posición tope.

11.6.14 Sellado de tubos

En los tubos termoplásticos que contengan cables o en los tubos que se considere necesario por su proximidad de tuberías de agua, saneamientos o similares, se taponarán sus bocas con espuma poliuretano o cualquier otro procedimiento autorizado por la Dirección de Obra. Se seguirá, en cualquier caso, las instrucciones dadas por el fabricante.

11.6.15 Tendido

El transporte de bobinas de cable se realizará sobre camiones o remolques apropiados.

Las bobinas estarán convenientemente calzadas y no podrán retener con cuerdas, cables o cadenas que abracen la bobina sobre la capa exterior del cable enrollado.

La carga y descarga se realizará suspendiendo la bobina por medio de una barra que pasen por el eje central de la bobina y con los medios de elevación adecuados a su peso. No se dejarán caer al suelo desde un camión o remolque.

Los desplazamientos de las bobinas sobre el suelo, rodándolas, se realizarán en el sentido de rotación indicado generalmente con una flecha en la bobina, con el fin de evitar que se afloje el cable.

El tendido se realizará con los cables soportados por rodillos adecuados que puedan girar libremente y contruidos de forma que no dañen el cable, dispondrán además de una base que impida su vuelco y su garganta tendrá las dimensiones necesarias para que circule el cable sin que se salga o caiga.

La distancia entre rodillos será tal que el cable, durante el tendido, no roce con la arena.

En las curvas se colocarán los rodillos precisos para que el radio de curvatura de los cables no sea inferior a 20 veces su diámetro, de forma que soporten el empuje lateral de cable.

Antes de empezar el tendido se estudiará el punto más apropiado para situar la bobina. En caso de trazados con pendiente, suele ser conveniente tender cuesta abajo. Se procurará colocarla lo más alejada posible de los entubados.

La bobina estará elevada y sujeta por medio de la barra y gatos apropiados. Tendrá un dispositivo de frenado eficaz. Su situación será tal que la salida de cable durante el tendido se realice por su parte superior.

Antes de tender el cable, se recorrerán con detenimiento las zanjas abiertas o en los interiores de los tubos, para comprobar que se encuentran sin piedra u otros elementos duros que puedan dañar a los cables en su tendido, realizando las verificaciones oportunas (paso de testigo por los tubos).

Los cables deben ser siempre desenrollados y puestos en su sitio con el mayor cuidado, evitando que sufran torsión, hagan bucles, etc., y teniendo siempre presente que el radio de curvatura del cable será superior a 20 veces su diámetro durante su tendido, y superior a 15 veces su diámetro, una vez instalado.

Cuando los cables se tiendan a mano, los operarios estarán distribuidos de una manera uniforme a lo largo de la zanja. El cable se guiará por medio de una cuerda sujeta al extremo del mismo por una funda de malla metálica.

También se puede tender mediante cabrestantes, tirando de la vena del cable, al que se habrá adosado una cabeza apropiada y con un esfuerzo de tracción igual o inferior a $2,4 \text{ daN/mm}^2$ ó al indicado por el fabricante del cable.

Los cabrestantes u otras máquinas que proporcionen la tracción necesaria para el tendido, estarán dotadas de dinamómetros apropiados.

El tendido de los conductores se interrumpirá cuando la temperatura ambiente sea inferior a 0°C , debido a la rigidez que a esas temperaturas toma el aislamiento.

Los conductores se colocarán en su posición definitiva, tanto en las zanjas como en canales de obra o las galerías, siempre a mano, sin utilizar palancas u otros útiles; quedarán perfectamente alineados en las posiciones indicadas en el proyecto.

Para identificar los cables unipolares se marcarán con cintas adhesivas de colores verde, amarillo y marrón, cada 1,5 m.

Cada 10 m, como máximo, y sin coincidir con las cintas de señalización, se pondrán unas abrazaderas de material sintético de color negro que agrupen la terna de conductores y los mantenga unidos.

En los entubados no se permitirá el paso de dos circuitos por el mismo tubo.

Cuando en una zanja coincidan líneas de distintas tensiones, se situarán en bandas horizontales a distinto nivel, de forma que en cada banda se agrupen los cables de igual tensión. La separación mínima entre cada dos bandas será de 25 cm. La separación entre dos cables multipolares dentro de una misma banda será de 10 cm, como mínimo.

La profundidad de las respectivas bandas de cables dependerá de las tensiones, de forma que la mayor profundidad corresponda a la mayor tensión.

Cuando se coloque por banda más de los circuitos indicados, se abrirá una zanja de anchura especial, teniendo siempre en cuenta las separaciones mínimas de 10 cm entre líneas.

No se dejará nunca el cable tendido en una zanja abierta sin haber tomado antes la precaución de cubrirlo con una capa de 10 cm de arena fina, y sus extremos protegidos convenientemente para asegurar su estanqueidad.

Antes del tapado de los conductores con la segunda capa de arena, se comprobará que durante el tendido no se han producido erosiones en la cubierta

11.6.16 Confección de terminales

Se utilizarán los del tipo indicado en el proyecto, siguiendo para sus instalaciones las instrucciones y normas del fabricante, así como las reseñadas a continuación.

En la ejecución de los terminales, se pondrá especial cuidado en limpiar escrupulosamente la parte del aislamiento de la que se ha quitado la capa semiconductor. Un residuo de barniz, cinta o papel semiconductor es un defecto grave.

Los elementos que controlan el gradiente de campo serán los indicados por el fabricante y se realizarán con las técnicas y herramientas adecuadas.

11.6.17 Confección de empalmes

La ejecución de los empalmes se realizará siguiendo las instrucciones y normas del fabricante.

En la ejecución de empalmes en cables, se tendrá especial cuidado en la curvatura de las fases, realizándola lentamente para dar tiempo al desplazamiento de cable y no sobrepasando en ningún punto el radio mínimo de curvatura.

Se procurará, a ser posible, no efectuar ningún cruce de fases, y en el caso de ser indispensable, se extremarán las precauciones al hacer la curvatura.

Los manguitos para la unión de las cuerdas serán los indicados por el Director de Obra, y su montaje se realizará con las técnicas y herramientas que indique el fabricante, teniendo la precaución de que durante la maniobra del montaje del manguito no se deteriore el aislamiento primario del conductor.

11.6.18 Izado de cable en apoyo LA

Tanto el tubo de protección como el cable en su parte libre, irán sujetos al apoyo LA con horquillas o cepos indicadas en el proyecto.

Con el objeto de no dañar la cubierta de los cables, en las horquillas se colocará un asiento de cinta de policloropreno.

El tubo de acero se conectará a tierra, a través del apoyo.

El picado de la base de hormigón se realizará de forma uniforme.

Se taponará el tubo de acero, con el correspondiente protector de cable.

11.6.19 Colocación de soporte de terminales y pararrayos en apoyo LA

Los herrajes de sujeción de los terminales, así como de los pararrayos correspondientes, se colocarán sujetos al apoyo a la distancia indicada en el proyecto.

11.6.20 Toma de datos del trazado y croquización

Una vez terminada la obra, su situación en relación con las calles, aceras, edificaciones, etc, quedará reflejada en los croquis del trazado realizado.

Se realizará un plano de situación, a escala 1:500; 1:1.000 ó 1:2.000, con la traza de la línea incluyendo los datos necesarios para su localización e identificación de los servicios afectados. Preferentemente esta información será en soporte informático.

11.7 Pruebas eléctricas

Antes de ser conectado a la red, el cable se someterá a verificaciones, para detectar los posibles daños producidos durante la manipulación del cable y accesorios.

- -Se comprobará la continuidad y orden de fases.
- -Se verificará la continuidad de la pantalla metálica.
- -Se realizarán los ensayos dieléctricos de la cubierta y, en su caso, del aislamiento.

12. ELECTRICIDAD. INSTALACIONES DE ALTA TENSIÓN. CENTROS DE TRANSFORMACIÓN

12.1 Materiales

Los materiales empleados en el montaje de este tipo de centro están especificados en el proyecto.

Los fabricantes de los materiales estarán calificados por la compañía distribuidora.

12.2 Ejecución

12.2.1 Edificio prefabricado

El centro prefabricado constará de todos los elementos previstos en el proyecto y su manejo se realizará con el procedimiento indicado por el fabricante.

Estará dotado de todos los pernos de sujeción e izado correspondientes, que estarán apretados correctamente.

12.2.2 Celdas

Tanto las celdas de línea como las celdas de protección del Transformador cumplirán con lo especificado en el proyecto.

Las celdas se colocarán adecuadamente sobre la solera del centro. Estarán alineados entre sí (celdas extensibles), paralelas a los paramentos y perfectamente aplomadas.

12.2.3 Transformadores

Los transformadores serán de refrigeración natural con dieléctrico líquido (aceite) y cumplirán con lo especificado en el proyecto.

Las operaciones necesarias para el traslado del transformador hasta su posición definitiva, se realizará aplicando la tracción necesaria por medio de mecanismos apropiados (grúas, trácteres, polipastos, etc.)

La orientación de las ruedas se realizará elevando el transformador con gatos hidráulicos apropiados; se utilizarán barras de uña, barrones, etc., únicamente como medios auxiliares.

El transformador con dieléctrico de aceite mineral quedará instalado sobre el foso de recogida del aceite, sobre carriles normalizados, que no presenten ningún resalte sobre la obra de fábrica.

12.2.4 Interconexión celda-trafo

La conexión eléctrica entre la celda de alta y el transformador de potencia se realizará con cable unipolar seco de 50 mm² de sección y del tipo DHZ1 12/20 kV.

Estos cables dispondrán en sus extremos de terminales enchufables rectos o acodados de conexión sencilla de 24 kV/200 A.

El trazado de la interconexión será el más corto posible evitando los puentes de longitud excesiva.

Discurrirán por las canalizaciones previstas. En las subidas hacia las bornas de M.T. de los transformadores, estarán sujetos a los paramentos verticales con los herrajes definidos para tal fin en el proyecto.

12.2.5 Interconexión trafo-cuadro b.t.

La conexión eléctrica entre el trafo de potencia y el cuadro de baja tensión se debe realizar con cable unipolar con conductor tipo RV y de 0,6/1 kV.

Los cables con conductor de aluminio dispondrán en sus extremos de terminales bimetálicos (punzonado profundo).

Su trazado será lo más corto posible evitándose los puentes de longitud excesiva.

Discurrirán por las canalizaciones y/o bandejas y las subidas para los parámetros verticales se realizarán con los herrajes previstos en el proyecto.

Los conductores estarán señalizados con cintas de PVC de colores verde, amarillo, marrón para la fase y gris para el conductor del neutro. El conjunto de los conductores de cada circuito, quedará correctamente agrupada en mazos.

La colocación de los terminales en los extremos de los cables se realizará por medio de prensas hidráulicas con las matrices adecuadas, para proporcionar al terminal la compresión correcta. Se seguirán para estas operaciones, las instrucciones del fabricante de los terminales.

La conexión entre los terminales de los cables con la pala de las bases tripolares verticales se realizará intercalando entre las palas de los terminales una arandela plana y una elástica entre la plana y la tuerca que proporcione una presión de contacto constante aunque varíe la temperatura del conductor.

12.2.6 Instalación de puesta a tierra

1.1.1.1 Sistemas de puesta a tierra (PaT)

Hay que distinguir entre la línea de tierra de la PaT de Protección y la línea de tierra de PaT de Servicio (neutro). A la línea de tierra de PaT de Protección se deberán conectar los siguientes elementos:

- Cuba de transformador/res

- Envolvente metálica del cuadro B.T.
- Celda de alta tensión (en dos puntos)
- Pantalla del cable DH-Z1, extremos conexión-transformador.
- A la línea de tierra de PaT de Servicio (neutro), se le conectará la salida del neutro del cuadro de B.T.

1.1.1.2 Formas de los electrodos

El electrodo de PaT estará formado por un bucle enterrado horizontalmente alrededor de CT.

1.1.1.3 Materiales a utilizar Línea de tierra de PaT de Protección.

Se empleará cable de cobre desnudo de 50 mm² de sección.

Línea de Tierra de PaT de Servicio: Se empleará cable de cobre aislado de 50 mm² de sección, tipo RV 0,6/1 kV.

Electrodo de puesta a tierra: La sección del material empleado para la construcción de bucles será conductor de cobre, de 50 mm².

Piezas de conexión: Las conexiones conductor-conductor se efectuarán empleando grapas de latón con tornillo de acero inoxidable, tipo GCP/C16.

1.1.1.4 Ejecución de las puestas a tierra

Para acometer la tarea de seleccionar el electrodo de PaT es necesario el conocimiento del valor numérico de la resistividad del terreno, pues de ella dependerán tanto la resistencia de difusión a tierra como la distribución de potenciales en el terreno, y como consecuencia las tensiones de paso y contacto resultante en la instalación.

La configuración y disposición de cada tipo de centro, viene especificada en el proyecto.

12.2.7 Comprobación funcional de equipos y protecciones

Se comprobará en las celdas que los mandos de interruptores seccionadores, seccionadores de pat; y enclavamientos entre ellos y las tapas de los compartimentos de fusibles y cables son los correctos.

Se comprobará el correcto funcionamiento de los disparos de la celda de protección del transformador por temperatura del trafo y/o por nivel de agua en el centro, si los hubiera.

12.2.8 Cartografía

Se comprobará que los planos se ajusten al montaje ejecutado, realizando las modificaciones necesarias en los planos del proyecto, de forma que tengan en cuenta variaciones surgidas durante el montaje.

Los esquemas eléctricos reflejarán la situación final en que ha quedado el centro después de su montaje, con indicación de origen de las alimentaciones y el destino de la salida de los cables de M.T.

12.3 Inspección

El Director de obra y la compañía distribuidora controlará e inspeccionará todos los materiales y las diferentes fases de ejecución de la instalación.

Cuando ello no sea posible se realizará un muestreo (de materiales y procedimientos de ejecución) en número suficiente, el cual será representativo del conjunto de la obra.

En aquellas fases de la obra que se consideren significativas, el constructor está obligado a comunicar previamente la fecha de comienzo de las mismas.

Pueden considerarse como partes significativas de una obra, entre otros, los siguientes conceptos:

- Montaje del Edificio Prefabricado
- Montaje Celda
- Montaje Trafo
- Montaje Cuadro BT
- Interconexión Celda-Trafo
- Interconexión Trafo-Cuadro BT
- Instalación de puesta a tierra.
- Comprobación funcional de equipos y protecciones

12.4 Normativa

- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación, aprobado por el Real Decreto de 12-11-82 y publicado en el B.O.E. núm. 288 del 1-12-82 y las Instrucciones Técnicas Complementarias aprobadas por Orden de 6-7-84, y publicado en el B.O.E. núm. 183 del 1-8-84.

- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, aprobado por Decreto 842/2002 de 2-8-02, y publicado en el B.O.E. del 18-9-02.

13. ELECTRICIDAD. INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN. LÍNEAS SUBTERRÁNEAS

13.1 Objeto

Este documento establece los criterios que han de cumplirse en la ejecución de líneas subterráneas a BT.

13.2 Formas de canalizaciones

La ejecución de las instalaciones de líneas subterráneas de BT se realizará básicamente en los siguientes tipos de canalizaciones:

- Canalizaciones enterradas
- Canalizaciones entubadas por aceras
- Cruces por calzadas
- Canalizaciones en galería o instalación al aire

13.3 Trazado

Las canalizaciones, salvo casos de fuerza mayor, discurrirán por terrenos de dominio público, bajo las aceras, evitándose ángulos pronunciados.

El trazado será lo más rectilíneo posible, paralelo en toda su longitud a bordillos o fachadas de los edificios principales.

Antes de proceder al comienzo de los trabajos, se marcarán en el pavimento de las aceras o en el terreno, los lugares donde se abrirán las zanjas, señalando tanto su anchura como su longitud y las zonas donde se dejarán puentes para la contención del terreno y acceso a la finca.

Si hay posibilidad de conocer las acometidas de otros servicios a las fincas construidas o trazados de otras líneas se indicarán sus situaciones, con el fin de tomar las precauciones debidas.

Antes de proceder a la apertura de las zanjas se abrirán calas de reconocimiento para confirmar o rectificar el trazado previsto.

Al marcar el trazado de las zanjas se tendrá en cuenta el radio mínimo que, durante las operaciones del tendido, deben tener las curvas en función de la sección del conductor o conductores que se vayan a canalizar.

13.4 Seguridad

Las zanjas se realizarán cumpliendo todas las medidas de seguridad personal y vial indicadas en las Ordenanzas Municipales, Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Código de la Circulación, etc.

Todas las obras deberán estar perfectamente señalizadas y balizadas, tanto frontal como longitudinalmente (chapas, tableros, valla, luces,). La obligación de señalizar alcanzará, no sólo a la propia obra, sino aquellos lugares en que resulte necesaria cualquier indicación como consecuencia directa o indirecta de los trabajos que se realicen.

13.5 Materiales

13.5.1 Cables

Los cables instalados cumplirán lo especificado en la Norma UNE 21022 y serán del tipo indicado en el proyecto.

Su sección será la indicada en el proyecto.

13.5.2 Cinta de señalización

La cinta de señalización de la existencia de conductores eléctricos, tendrá la calificación de Material Aceptado.

13.5.3 Placa cubrecables

La placa cubrecables tendrá la calificación de Material Aceptado.

13.5.4 Caja general de protección CGP

Serán del tipo indicado en el proyecto.

13.5.5 Caja general de protección y medida (CPM) y cajas de seccionamiento

Serán del tipo indicado en el proyecto.

13.5.6 Conectores terminales bimetálicos

Los conectores terminales colocados serán los adecuados a la naturaleza del cable y tendrán la calificación de Material Aceptado.

Serán los indicados por el fabricante para el tipo y sección de los cables que se tiendan.

13.5.7 Manguitos de Empalme

Los manguitos de empalme a utilizar serán los adecuados a la naturaleza del cable y tendrán la calificación de Material Aceptado.

Serán los indicados por el fabricante para el tipo y sección de los cables que se tiendan.

13.5.8 Conectores de derivación

Las piezas de derivación serán las adecuadas a la naturaleza de los cables y tendrán la calificación de Material Aceptado.

Serán del tipo indicado por el fabricante para el tipo y sección de los cables principal y derivado.

13.5.9 Accesorios de BT

Los accesorios de BT para la reconstrucción del aislamiento y cubierta, serán los adecuados a la naturaleza de los empalmes, derivaciones y terminales, y tendrán la calificación de Material Aceptado.

Sus dimensiones serán las adecuadas a la sección de los conductores.

13.5.10 Arena

La arena que se utilice para la protección de los cables será limpia, suelta, áspera, crujiente al tacto, exenta de sustancias orgánicas, arcilla o partículas terrosas. Si fuese necesario, se tamizará o lavará convenientemente. (Tamiz 032 UNE)

Se utilizará indistintamente de mina o de río, siempre que reúna las condiciones señaladas anteriormente; las dimensiones de los granos serán de 3 mm como máximo.

Estará exenta de polvo, para lo cual no se utilizará arena con granos de dimensiones inferiores a 0,2 mm.

13.5.11 Ladrillo para fábrica

Los ladrillos empleados para la ejecución de fábricas serán de ladrillo cocido y de dimensiones regulares, y a ser posible enteros.

13.5.12 Tubos termoplásticos

Los tubos tendrán un diámetro de 160 mm y serán de material termoplástico (libre de halógenos).

Los tubos tendrán la calificación de Material Aceptado.

13.5.13 Hormigones

Los hormigones serán preferentemente prefabricados en planta y cumplirán las prescripciones de la Instrucción Española para la ejecución de las obras de hormigón EH 90.

El hormigón a utilizar en los rellenos y asientos de los tubos será del tipo HM-20.

13.5.14 Arqueta prefabricada

Las arquetas prefabricadas tendrán la calificación de Material Aceptado.

13.5.15 Marcos para arquetas

Los marcos para las arquetas, tendrán la calificación de Material Aceptado.

13.5.16 Tapas para arquetas

Las tapas para las arquetas, tendrán la calificación de Material Aceptado.

13.5.17 Tornillería de conexión

La tornillería será de paso, diámetro y longitud indicada para cada terminal.

Estarán protegidos contra la oxidación por una protección adecuada.

13.5.18 Loseta hidráulica

La loseta hidráulica empleada en la reposición de pavimentos será nueva y tendrá la textura y tonos del pavimento a reponer.

13.5.19 Asfaltos

Los pavimentos de las capas de rodadura en las calzadas serán de las mismas características de los existentes, en cuanto a clases, aglomerados en frío o caliente, etc. o tipo de cada uno de estos (cerrado, abierto...).

13.5.20 Cintas de identificación y abrazaderas de agrupación de cables

Las cintas de identificación y abrazaderas tendrán la calificación de Material Aceptado.

Las cintas de identificación serán de color verde, amarillo o marrón para las fases, y gris para el neutro. Las abrazaderas de agrupación de cables serán de material sintético y de color negro.

13.5.21 Protector de fundición para tubo recto termoplástico

La protección de fundición tendrá la calificación de Material Aceptado.

13.5.22 Circuito de puesta a tierra

Los conductores, la pica bimetálica, la pieza de conexión, manguito de derivación, manguito termorretráctil o cinta antihumedad, estarán calificados como Material Aceptado y serán del tipo indicado en el proyecto.

El circuito de tierra estará constituido por cable de cobre aislado DN-RA 1x50 Cu o desnudo C50.

13.5.23 Señales autoadhesivas

Las señales autoadhesivas para identificación de líneas de BT tendrán la calificación de Material Aceptado.

13.6 Ejecución

13.6.1 Excavación

El constructor, antes de empezar los trabajos de excavación en apertura de zanjas, determinará las protecciones precisas, tanto de la zanja como de los pasos que sean necesarios. Decidirá las chapas de hierro que hayan de colocarse sobre la zanja para el paso de vehículos. Todos los elementos de protección y señalización los tendrá dispuestos antes de dar comienzo a la obra.

Las zanjas se abrirán en terrenos de dominio público, preferentemente bajo acera.

Las dimensiones de las zanjas serán las definidas en el proyecto.

En los casos especiales, debidamente justificados, en que la profundidad de la colocación de los conductores sea inferior al 60% de la indicada en el proyecto, se protegerán mediante tubos, conductos, chapas, etc., de adecuada resistencia mecánica.

En los cruzamientos y paralelismos con otros servicios, se atenderá a lo dispuesto por los Organismos Oficiales, propietarios de los servicios a cruzar. En cualquier caso, las distancias a dichos servicios serán, como mínimo, de 25 cm.

No se instalarán conducciones paralelas a otros servicios coincidentes en la misma proyección vertical. La separación entre los extremos de dichas proyecciones será mayor de 30 cm.

En los casos excepcionales en que las distancias mínimas indicadas anteriormente no puedan guardarse, los conductores deberán colocarse en el interior de tubos de material incombustible de suficiente resistencia mecánica.

En los trazados curvos, la zanja se realizará de forma que los radios de los conductores, una vez situados en sus posiciones definitivas, sean como mínimo 10 veces el diámetro del cable.

Los cruces de las calzadas serán rectos, a ser posible perpendiculares al eje de las mismas.

La zanja se realizará lo más recta posible. En el caso de electrificación de zonas urbanas, el trazado se mantendrá paralelo en toda su longitud a los bordillos de las aceras o a las fachadas de los edificios principales.

13.6.2 Retirada de tierras

La tierra sobrante, así como los escombros del pavimento y firme se llevarán a escombrera o vertedero, debidamente autorizados con el canon de vertido correspondiente.

13.6.3 Rellenos de zanjas con tierras, todo-uno, zahorras, u hormigón

Una vez colocadas las protecciones del cable, se rellenará toda la zanja con tierra de la excavación o de préstamo, según el caso, apisonada, debiendo realizarse los 25 primeros cm de forma manual. Sobre esta tongada se situará la cinta de atención al cable.

El cierre de las zanjas se realizará por tongadas, cuyo espesor original sea inferior a 25 cm, compactándose inmediatamente cada una de ellas antes de proceder al vertido de la tongada siguiente.

En las zanjas realizadas en aceras o calzadas con base de hormigón, el relleno de la zanja con tierras compactas, no sobrepasará la cota inferior de las bases de hormigón.

El material de aportación para el relleno de las zanjas tendrá elementos con un tamaño máximo de 10 cm, y su grado de humedad será el necesario para obtener la densidad exigida, una vez compactado.

13.6.4 Asiento de cables con arena (tamiz 032 UNE)

En el fondo de las zanjas se preparará un lecho de arena de las características indicadas, de 10 cm de espesor, que ocupe todo su ancho.

Una vez terminado el tendido, se extenderá sobre los cables colocados, una segunda capa de arena de 10 cm de espesor, como mínimo, que ocupe todo el ancho de la zanja.

13.6.5 Asientos de tubos con hormigón HM-20

El número de tubos y su distribución en capas serán los indicados en el proyecto, y estarán hormigonados en toda su longitud, o con asiento de arena.

Una vez instalados, los tubos no presentarán en su interior resaltes que impidan o dificulten el tendido de los conductores, realizándose las verificaciones oportunas (paso de testigo).

Antes de la colocación de la capa inferior de los tubos, se extenderá una tongada de hormigón HM-20 y de 5 cm de espesor que ocupe todo el ancho de la zanja; su superficie deberá quedar nivelada y lo más lisa posible.

Sobre esta tongada se colocarán todos los tubos, realizando los empalmes necesarios; los tubos quedarán alineados y no presentarán en su interior resaltes ni rugosidades.

El conjunto de los tubos se cubrirá con hormigón HM-20 hasta una cota que rebase la superior de los tubos en, al menos, 10 cm, y que ocupe todo el ancho de las zanjas

13.6.6 Colocación cinta señalización

En las canalizaciones, salvo en los cruces en calzadas, se colocará una cinta de polietileno. Se colocarán a lo largo de la canalización, en número y distribución, según lo indicado en el proyecto.

13.6.7 Colocación protección mecánica

Sobre el asiento del cable en arena se colocará una protección mecánica de un tubo termoplástico de un diámetro de 160 mm o un tubo y una placa cubrecable, según el caso. Se

colocará la protección mecánica a lo largo de la canalización en número y distribución, según lo indicado en el proyecto.

13.6.8 Colocación marco y tapa

En la cabeza de las arquetas registrables se colocarán los marcos y tapas indicadas en el proyecto, debidamente enrasados con el pavimento correspondiente.

Los marcos se recibirán con mortero M250.

13.6.9 Colocación de arquetas y calas de tiro

En los cambios de dirección de las canalizaciones entubadas se dispondrá preferentemente de calas de tiros y excepcionalmente de arquetas ciegas, arquetas de hormigón o ladrillo, de dimensiones necesarias para que el radio de curvatura de tendido sea, como mínimo, 20 veces el diámetro exterior del cable. No se admitirán ángulos inferiores a 90°, y aún éstos se limitarán a los indispensables. En general los cambios de dirección se harán con ángulos grandes.

Las arquetas prefabricadas de hormigón se colocarán sobre el suelo acondicionado previamente, y debidamente niveladas.

Los módulos estarán sellados por medio de juntas.

13.6.10 Perforaciones horizontales (topo)

Las perforaciones en horizontal por medios mecánicos mediante máquina especial adecuada, se realizarán de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El número de tubos y diámetro de estos será el indicado en el proyecto.

13.6.11 Perforaciones de muros (hormigón o mampostería)

La rotura de muros se realizará con maquinaria apropiada (compresor/martillo), colocando tubos rectos termoplásticos, separados entre sí 2 cm y sobre paredes del hueco abierto 5 cm, recibiendo los tubos con mortero M250.

13.6.12 Adosar tubo recto termoplástico en paredes

Los tubos rígidos termoplásticos (libres de halógenos) de diámetro 90, se adosarán a las paredes sujetos por abrazaderas u horquillas y tacos.

13.6.13 Colocación de tapón para tubo

En la boca de los tubos termoplásticos sin ocupación de cables se colocarán los tapones correspondientes, debidamente presionados en su posición tope.

13.6.14 Colocación de protector de fundición

En los tubos que por su ubicación podrían estar expuestos a fuertes golpes mecánicos, se colocará un protector de fundición sujeto a la pared mediante tacos.

13.6.15 Sellado de tubos

En los tubos termoplásticos que contengan cables o en los tubos que se considere necesario por su proximidad de tuberías de agua, saneamientos o similares, se taponarán sus bocas con espuma poliuretano o cualquier otro procedimiento autorizado por la Dirección de Obra. Se seguirá, en cualquier caso, las instrucciones dadas por el fabricante.

13.6.16 Tendido

El transporte de bobinas de cable se realizará sobre camiones o remolques apropiados.

Las bobinas estarán convenientemente calzadas y no podrán retener con cuerdas, cables o cadenas que abracen la bobina sobre la capa exterior del cable enrollado.

La carga y descarga se realizará suspendiendo la bobina por medio de una barra que pasen por el eje central de la bobina y con los medios de elevación adecuados a su peso. No se dejarán caer al suelo desde un camión o remolque.

Los desplazamientos de las bobinas sobre el suelo, rodándolas, se realizarán en el sentido de rotación indicado generalmente con una flecha en la bobina, con el fin de evitar que se afloje el cable.

Antes de empezar el tendido se estudiará el punto más apropiado para situar la bobina. En caso de trazados con pendiente, suele ser conveniente tender cuesta abajo. Se procurará colocarla lo más alejada posible de los entubados.

La bobina estará elevada y sujeta por medio de la barra y gatos apropiados. Tendrá un dispositivo de frenado eficaz. Su situación será tal que la salida de cable durante el tendido se realice por su parte superior.

Antes de tender el cable, se recorrerán con detenimiento las zanjas abiertas o en los interiores de los tubos, para comprobar que se encuentran sin piedra u otros elementos duros que puedan dañar a los cables en su tendido, realizando las verificaciones oportunas (paso de testigo por los tubos).

Los cables deben ser siempre desenrollados y puestos en su sitio con el mayor cuidado, evitando que sufran torsión, hagan bucles, etc., y teniendo siempre presente que el radio de curvatura del cable será superior a 20 veces su diámetro durante su tendido, y superior a 10 veces su diámetro, una vez instalado.

Cuando los cables se tiendan a mano, los operarios estarán distribuidos de una manera uniforme a lo largo de la zanja. El cable se guiará por medio de una cuerda sujeta al extremo del mismo por una funda de malla metálica.

También se puede tender mediante cabrestantes, tirando de la vena del cable, al que se habrá adosado una cabeza apropiada y con un esfuerzo de tracción igual o inferior a $2,4 \text{ daN/mm}^2$ ó al indicado por el fabricante del cable.

Los cabrestantes u otras máquinas que proporcionen la tracción necesaria para el tendido, estarán dotadas de dinamómetros apropiados.

El tendido de los conductores se interrumpirá cuando la temperatura ambiente sea inferior a 0°C , debido a la rigidez que a esas temperaturas toma el aislamiento.

Los conductores se colocarán en su posición definitiva, tanto en las zanjas como en canales de obra o las galerías, siempre a mano, sin utilizar palancas u otros útiles; quedarán perfectamente alineados en las posiciones indicadas en el proyecto.

Para identificar los cables unipolares se marcarán con cintas adhesivas de colores verde, amarillo, marrón y gris, cada 1,5 m.

Cada 10 m, como máximo, y sin coincidir con las cintas de señalización, se pondrán unas abrazaderas de material sintético de color negro que agrupen la terna de conductores y los mantenga unidos.

En los entubados no se permitirá el paso de dos circuitos por el mismo tubo.

Cuando en una zanja coincidan líneas de distintas tensiones, se situarán en bandas horizontales a distinto nivel, de forma que en cada banda se agrupen los cables de igual tensión. La separación mínima entre cada dos bandas será de 10 cm. La separación entre dos cables de BT dentro de una misma banda será de 7 cm, como mínimo.

La profundidad de las respectivas bandas de cables dependerá de las tensiones, de forma que la mayor profundidad corresponda a la mayor tensión.

Cuando se coloque por banda más de los circuitos indicados, se abrirá una zanja de anchura especial, teniendo siempre en cuenta las separaciones mínimas de 7 cm entre líneas de BT.

No se dejará nunca el cable tendido en una zanja abierta sin haber tomado antes la precaución de cubrirlo con una capa de 10 cm de arena fina, y sus extremos protegidos convenientemente para asegurar su estanqueidad.

Antes del tapado de los conductores con la segunda capa de arena, se comprobará que durante el tendido no se han producido erosiones en la cubierta del cable.

13.6.17 Colocación y conexión de las cajas generales de protección (CGP) o cajas de protección y medida (CPM)

Las CGP o CPM se colocarán lo más próxima posible a la red de distribución, y en terreno propiedad del cliente.

El hueco necesario para alojar las CGP estará acondicionado interiormente con sus parámetros enlucidos y sus dimensiones serán las indicadas en los planos. Irá dotado de una puerta con candado o cerradura normalizada.

La entrada de los cables se realizará a través de tubos termoplásticos, salvo los tubos de entrada a los huecos mencionados anteriormente, que atraviesen sitios accesibles, tales como aristas inferiores de sótanos o garajes, en cuyo caso serán de acero con suficiente rigidez mecánica, para evitar su aplastamiento.

La CGP estará sujeta mediante pernos roscados a tacos antigiratorios anclados a la pared, de forma que su sujeción sea firme y segura.

La CPM que alimente a dos clientes situados en parcelas colindantes, se colocará en la medianería entre ambas, de forma que las derivaciones individuales a cada uno de ellos discurra por su propiedad.

Las dimensiones de las fundaciones para las CPM serán las indicadas en los planos del proyecto, respetándose las cotas de empotramiento en el terreno de la fundación y la altura sobre las aceras de los armarios, según sean éstos de medida o de seccionamiento y medida.

Las fundaciones de las CPM podrán ser de hormigón prefabricado o de ladrillo macizo.

Estarán dotadas de casquillos metálicos apropiados, a los que atornillarán los pernos de anclaje de los armarios asegurando su sujeción firme.

Las CPM quedarán, una vez instaladas, alineadas con los cerramientos de las parcelas o con las fachadas de las edificaciones.

Las fundaciones se montarán de forma que, una vez instalados sobre ellas las cajas, éstas queden perfectamente aplomadas.

Los cables de la acometida estarán señalizados con los colores indicados en el apartado “Cintas de identificación y abrazaderas de agrupación de cables”. Las cintas de identificación se colocarán de forma que no oculten la zona de conexión al borne correspondiente de la CGP o CPM. Su situación en la CGP será (mirando la caja de frente) a la izquierda, el conductor neutro de color gris y a continuación las fases verde, amarillo y marrón.

El neutro de todas las cajas se pondrá a tierra, por medio de un cable aislado o desnudo de 50 mm² de Cu conexionado a una pica bimetálica, por medio de una pieza de conexión y sellado con cinta antihumedad.

13.6.18 Confeccionar terminación línea subterránea enlace con LA

Se colocará un tubo termoplástico (libre de halógenos) de diámetro 90 mm, por medio de horquillas o cepos indicado en el proyecto.

El anclaje será adecuado al tipo de pared.

Se taponará el tubo por medio del correspondiente capuchón de salida de cables, de tal forma que quede perfectamente colocado al tubo, y que las salidas del capuchón se ajusten a los cables de enlace con la LA.

La línea quedará debidamente señalizada por medio de las señales autoadhesivas, según el apartado “Señales autoadhesivas” y las fases se identificarán con cintas de colores.

El neutro del enlace se pondrá a tierra, en aquellas instalaciones indicadas en el proyecto, por medio de un cable aislado de 50 mm² de Cu conexionado a una pica bimetálica por medio de una pieza de conexión, debidamente sellada por medio de cintas de antihumedad y manguito termorretráctil.

El montaje de las conexiones y sellados se realizará siguiendo las instrucciones del fabricante.

13.6.19 Confección conector terminal bimetálico por punzonado profundo escalonado

Los terminales serán colocados en los conductores para su conexión a los cuadros y cajas (CGP y CS), serán de características adecuadas a la sección y naturaleza de los cables.

Estarán firmemente sujetos a las cuerdas de los conductores, utilizando las técnicas indicadas por su fabricante, tanto para la limpieza del aluminio como para la ejecución de los punzonados necesarios para su sujeción.

Las prensas hidráulicas necesarias para realizar los punzonados profundos de los terminales sobre los conductores, serán los recomendados por los fabricantes de los terminales, y estarán dotadas de las matrices cerradas adecuadas al tipo de terminal.

Estarán convenientemente apretados con un par de apriete, igual al recomendado por el fabricante de los terminales.

Los terminales estarán señalizados con los colores de identificación. Las cintas de identificación se colocarán de forma que no oculten las entalladuras de los terminales para permitir la comprobación de la correcta ejecución de la compresión.

La cubierta de los conductores se reconstruirá, en su caso, con los materiales termorretráctiles correspondientes.

13.6.20 Confección empalme por punzonado o conector de derivación por compresión

El montaje de los empalmes y derivaciones se realizará siguiendo las instrucciones y normas del fabricante.

Las piezas de conexión serán exclusivamente los indicados por el fabricante, y su montaje se realizará con las técnicas y herramientas que indique.

El aislamiento y cubierta de los conductores se reconstruirá con los accesorios aislantes de BT correspondientes.

13.6.21 Toma de datos del trazado y croquización

Una vez terminada la obra, su situación en relación con las calles, aceras, edificaciones, etc, quedará reflejada en los croquis del trazado realizado.

Se realizará un plano de situación, a escala 1:500; 1:1.000 ó 1:2.000, con la traza de la línea incluyendo los datos necesarios para su localización e identificación de los servicios afectados. Preferentemente esta información será en soporte informático.

14. OBRA CIVIL. EXPLANACIONES. DESBROCE DEL TERRENO

14.1 Definición

Consiste en extraer y retirar de las zonas designadas todos los árboles, tocones, plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material indeseable a juicio del Director de las obras.

La ejecución de esta operación incluye las operaciones siguientes:

- Remoción de los materiales objeto de desbroce.
- Retirado y extendido de los mismos en su emplazamiento definitivo.

La tierra vegetal deberá ser siempre retirada.

14.2 Ejecución de las obras

14.2.1 Remoción de los materiales de desbroce

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

Debe retirarse la tierra vegetal de las superficies de terreno afectadas por excavaciones o terraplenes, según las profundidades definidas en el Proyecto y verificadas o definidas durante la obra.

En zonas muy blandas o pantanosas la retirada de la capa de tierra vegetal puede ser inadecuada, por poder constituir una costra más resistente y menos deformable que el terreno subyacente. En estos casos y en todos aquellos en que, según el Proyecto o el Director de las Obras, el mantenimiento de dicha capa sea beneficioso, ésta no se retirará.

Las operaciones de remoción se efectuarán con las precauciones necesarias para lograr unas condiciones de seguridad suficientes y evitar daños en las construcciones próximas existentes.

El Contratista deberá disponer las medidas de protección adecuadas para evitar que la vegetación, objetos y servicios considerados como permanentes, resulten dañados. Cuando dichos elementos resulten dañados por el Contratista, éste deberá reemplazarlos, con la aprobación del Director de las Obras, sin costo para la Propiedad.

Todos los tocones o raíces mayores de diez centímetros (10 cm) de diámetro serán eliminados hasta una profundidad no inferior a cincuenta centímetros (50 cm), por debajo de la rasante de la explanación.

Fuera de la explanación los tocones de la vegetación que a juicio del Director de las Obras sea necesario retirar, en función de las necesidades impuestas por la seguridad de la circulación y de la incidencia del posterior desarrollo radicular, podrán dejarse cortados a ras de suelo.

Todas las oquedades causadas por la extracción de tocones y raíces se rellenarán con material análogo al suelo que ha quedado al descubierto al hacer el desbroce, y se compactarán conforme a lo indicado en este Pliego hasta que la superficie se ajuste a la del terreno existente.

Todos los pozos y agujeros que queden dentro de la explanación se rellenarán conforme a las instrucciones del Director de las Obras.

Los árboles susceptibles de aprovechamiento serán podados y limpiados, luego se cortarán en trozos adecuados y, finalmente, se almacenarán cuidadosamente, a disposición de la Propiedad y separados de los montones que hayan de ser quemados o desechados. Salvo indicación en contra del Director de las Obras, la madera no se troceará a longitud inferior a tres metros (3 m).

Los trabajos se realizarán de forma que no se produzcan molestias a los ocupantes de las zonas próximas a la obra.

14.2.2 Retirada y disposición de los materiales objeto del desbroce.

Todos los productos o subproductos forestales, no susceptibles de aprovechamiento, serán eliminados de acuerdo con lo que, sobre el particular, establezca el Proyecto u ordene el Director de las Obras. En principio estos elementos serán quemados, cuando esta operación esté permitida y sea aceptada por el Director de las Obras. El Contratista deberá disponer personal especializado para evitar los daños tanto a la vegetación como a bienes próximos. Al finalizar cada fase, el fuego debe quedar completamente apagado.

Los restantes materiales serán utilizados por el Contratista, en la forma y en los lugares que señale el Director de las Obras.

La tierra vegetal procedente del desbroce debe ser dispuesta en su emplazamiento definitivo en el menor intervalo de tiempo posible. En caso de que no sea posible utilizarla directamente, debe guardarse en montones de altura no superior a dos metros (2 m). Debe evitarse que sea sometida al paso de vehículos o a sobrecargas, ni antes de su remoción ni durante su almacenamiento, y los traslados entre puntos deben reducirse al mínimo.

Si entierran los materiales procedentes del desbroce, estos deben extenderse en capas dispuestas de forma que se reduzca al máximo la formación de huecos. Cada capa debe cubrirse o mezclarse con suelo para rellenar los posibles huecos, y sobre la capa superior deben extenderse al menos treinta centímetros (30 cm) de suelo compactado adecuadamente. Estos materiales no se extenderán en zonas donde se prevean afluencias apreciables de agua.

Si el vertido se efectúa fuera de la zona afectada por el Proyecto, el Contratista deberá conseguir, por sus medios, emplazamientos adecuados para este fin, que deberán ser aprobados por el Director de las Obras, y deberá asimismo proporcionar al Director de las Obras copias de los contratos con los propietarios de los terrenos afectados.

14.3 Medición y abono

Se medirán m² de la superficie en planta desbrozada, con el espesor que se indique en los Planos y Mediciones de Proyecto.

En esta unidad de obra se considera incluida la obtención de los permisos necesarios para el vertido del material procedente del desbroce.

Las medidas de protección de la vegetación y bienes y servicios considerados como permanentes, no serán objeto de abono independiente. Tampoco, se abonará el desbroce de las zonas de préstamo.

14.4 Normativa

PG-3 – Obras, carreteras y puentes

15. OBRA CIVIL. EXPLANACIONES. EXCAVACIÓN DE LA EXPLANACIÓN Y PRÉSTAMOS

15.1 Definición

Consiste en el conjunto de operaciones para excavar y nivelar las zonas donde han de asentarse los viales, incluyendo la plataforma, taludes y cunetas, así como las zonas de préstamos, previstos o autorizados, y el consiguiente transporte de los productos removidos al depósito o lugar de empleo.

Se incluyen en esta unidad la ampliación de las trincheras, la mejora de taludes en los desmontes, y la excavación adicional en suelos inadecuados, ordenadas por el Director de las Obras.

Se denominan "préstamos previstos" aquellos que proceden de las excavaciones de préstamos indicados en el Proyecto o dispuestos por la Administración, en los que el Contratista queda exento de la obligación y responsabilidad de obtener la autorización legal, contratos y permisos, para tales excavaciones. Se denominan "préstamos autorizados" aquellos que proceden de las excavaciones de préstamos seleccionados por el Contratista y autorizados por el Director de las Obras, siendo responsabilidad del Contratista la obtención de la autorización legal, contratos y permisos, para tales excavaciones

15.2 Clasificación de las excavaciones

En el presupuesto se indica, explícitamente, si la excavación ha de ser "clasificada" o "no clasificada".

En el caso de excavación clasificada, se considerarán los tipos siguientes:

- Excavación en roca: Comprenderá, a efectos de este Pliego y en consecuencia, a efectos de medición y abono, la correspondiente a todas las masas de roca, depósitos estratificados y aquellos materiales que presenten características de roca masiva o que se encuentren cementados tan sólidamente que hayan de ser excavados utilizando explosivos. Este carácter estará definido por el Director de las Obras en función de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el terreno, o bien por otros procedimientos contrastables durante la ejecución de la obra.
- Excavación en terreno de tránsito: Comprenderá la correspondiente a los materiales formados por rocas descompuestas, tierras muy compactas, y todos aquellos en que no siendo necesario, para su excavación, el empleo de explosivos sea precisa la utilización de escarificadores profundos y pesados. La calificación de terreno de tránsito estará definida por el Director de las Obras, en función de la velocidad de

propagación de las ondas sísmicas en el terreno, o bien por otros procedimientos contrastables durante la ejecución de la obra.

- Excavación en tierra: Comprenderá la correspondiente a todos los materiales no incluidos en los apartados anteriores.

Si se utiliza el sistema de "excavación clasificada", el Contratista determinará durante la ejecución, y notificará por escrito, para su aprobación, al Director de las Obras, las unidades que corresponden a excavaciones en roca, excavación en terreno de tránsito y excavación en tierra, teniendo en cuenta para ello las definiciones anteriores, y los criterios definidos por el Director de las Obras.

15.3 Ejecución de las obras

15.3.1 Generalidades

Una vez terminadas las operaciones de desbroce del terreno, se iniciarán las obras de excavación, ajustándose a las alineaciones, pendientes, dimensiones y demás información contenida en el Proyecto, y a lo que sobre el particular ordene el Director de las Obras. El Contratista deberá comunicar con suficiente antelación al Director de las Obras el comienzo de cualquier excavación, y el sistema de ejecución previsto, para obtener la aprobación del mismo.

Durante la ejecución de los trabajos se tomarán, en cualquier caso, las precauciones adecuadas para no disminuir la resistencia o estabilidad del terreno no excavado. En especial, se atenderá a las características tectónico-estructurales del entorno y a las alteraciones de su drenaje y se adoptarán las medidas necesarias para evitar los siguientes fenómenos:

- Inestabilidad de taludes en roca o de bloques de la misma, debida a voladuras inadecuadas
- deslizamientos ocasionados por el descalce del pie de la excavación
- encharcamientos debidos a un drenaje defectuoso de las obras
- taludes provisionales excesivos,
- etc.

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

15.3.2 Drenaje

Durante las diversas etapas de la construcción de la explanación, las obras se mantendrán en perfectas condiciones de drenaje y las cunetas, y demás elementos de desagüe, se dispondrán de modo que no se produzca erosión en los taludes.

15.3.3 Tierra vegetal

La tierra vegetal que se encuentre en las excavaciones, y que no se hubiera extraído en el desbroce, se removerá de acuerdo con lo que, al respecto, especifique el Director de las Obras, en concreto, en cuanto a la extensión y profundidad que debe ser retirada. Se acopiará para su utilización posterior en protección de taludes o superficies erosionables, o donde ordene el Director de las Obras.

La tierra vegetal extraída se mantendrá separada del resto de los productos excavados. La retirada, acopio y disposición de la tierra vegetal se realizará cumpliendo las prescripciones del documento “Desbroce del terreno” del Pg3, y el lugar de acopio deberá ser aprobado por el Director de las Obras.

15.3.4 Empleo de los productos de excavación

Siempre que sea posible, los materiales que se obtengan de la excavación se utilizarán en la formación de rellenos, y se transportarán directamente a las zonas previstas en el mismo, en su defecto, se estará a lo que, al respecto, disponga el Director de las Obras.

En el caso de excavación por voladura en roca, el procedimiento de ejecución, deberá proporcionar un material adecuado al destino definitivo del mismo, no siendo de abono las operaciones de ajuste de la granulometría del material resultante, salvo que dichas operaciones se encuentren incluidas en otra unidad de obra.

No se desechará ningún material excavado sin la previa autorización del Director de las Obras.

Los fragmentos de roca y bolos de piedra que se obtengan de la excavación y que no vayan a ser utilizados directamente en las obras se acopiarán y emplearán, si procede, en la protección de taludes, canalizaciones de agua, defensas contra la posible erosión, o en cualquier otro uso que señale el Director de las Obras.

Las rocas o bolos de piedra que aparezcan en la explanada, en zonas de desmonte en tierra, deberán eliminarse, a menos que el Contratista prefiera triturarlos al tamaño que se le ordene.

El material extraído en exceso podrá utilizarse en la ampliación de terraplenes, si así lo autoriza el Director de las Obras, debiéndose cumplir las mismas condiciones de acabado superficial que el relleno sin ampliar.

Los materiales excavados no aprovechables se transportarán a vertedero autorizado, sin que ello dé derecho a abono independiente. Las áreas de vertedero de estos materiales serán las autorizadas por el Director de las Obras a propuesta del Contratista, quien deberá obtener a su costa los oportunos permisos y facilitar copia de los mismos al Director de las Obras.

15.3.5 Excavación en roca

Las excavaciones en roca se ejecutarán de forma que no se dañe, quebrante o desprenda la roca no excavada. Se pondrá especial cuidado en evitar dañar los taludes del desmonte y la cimentación de la futura explanada. Cuando los taludes excavados tengan zonas inestables o la cimentación de la futura explanada presente cavidades, el Contratista adoptará las medidas de corrección necesarias, con la aprobación del Director de las Obras.

Se cuidará especialmente la subrasante que se establezca en los desmontes en roca debiendo ésta presentar una superficie que permita un perfecto drenaje sin encharcamientos, y en los casos en que por efecto de la voladura se generen zonas sin desagüe se deberán eliminar éstas mediante la aplicación de hormigón de saneo que genere la superficie de la subrasante de acuerdo con los planos establecidos para las mismas y con las tolerancias previstas, no siendo estas operaciones de abono.

Cuando se prevea el empleo de los productos de la excavación en roca, en la formación de pedraplenes, se seguirán además las prescripciones del capítulo "Pedraplenes", del Pg3.

Cuando interese de manera especial que las superficies de los taludes excavados presenten una buena terminación y se requiera, por tanto, realizar las operaciones precisas para tal fin, se seguirán las prescripciones del artículo "Excavación especial de taludes en roca" Del Pg3.

El Director de las Obras podrá prohibir la utilización de métodos de voladura que considere peligrosos o dañinos, aunque la autorización no exime al Contratista de la responsabilidad por los daños ocasionados como consecuencia de tales trabajos.

15.3.6 Préstamos y caballeros

Si se hubiese previsto o se estimase necesaria, durante la ejecución de las obras, la utilización de préstamos, el Contratista comunicará al Director de las Obras, con suficiente antelación, la apertura de los citados préstamos, a fin de que se pueda medir su volumen y dimensiones sobre el terreno natural no alterado y, en el caso de préstamos autorizados, realizar los oportunos ensayos para su aprobación, si procede.

No se tomarán préstamos en la zona de apoyo de la obra, ni se sustituirán los terrenos de apoyo de la obra por materiales admisibles de peores características o que empeoren la capacidad portante de la superficie de apoyo.

Se tomarán perfiles, con cotas y mediciones, de la superficie de la zona de préstamo después del desbroce y, asimismo, después de la excavación.

El Contratista no excavará más allá de las dimensiones y cotas establecidas.

Los préstamos deberán excavarse disponiendo las oportunas medidas de drenaje que impidan que se pueda acumular agua en ellos. El material inadecuado se depositará de acuerdo con lo que el Director de las Obras ordene al respecto.

Los taludes de los préstamos deberán ser estables, y una vez terminada su explotación, se acondicionarán de forma que no dañen el aspecto general del paisaje. No deberán ser visibles desde la carretera terminada, ni desde cualquier otro punto con especial impacto paisajístico negativo, debiéndose cumplir la normativa existente respecto a su posible impacto ambiental.

Los caballeros, o depósitos de tierra, que se formen deberán tener forma regular, superficies lisas que favorezcan la escorrentía de las aguas y un grado de estabilidad que evite cualquier derrumbamiento. Deberán situarse en los lugares que, al efecto, señale el Director de las Obras, se cuidará de evitar sus arrastres hacia la carretera o las obras de desagüe, y de que no se obstaculice la circulación por los caminos que haya establecidos, ni el curso de los ríos, arroyos o acequias que haya en las inmediaciones de la carretera.

El material vertido en caballeros no se podrá colocar de forma que represente un peligro para construcciones existentes, por presión directa o por sobrecarga sobre el terreno contiguo.

Cuando tras la excavación de la explanación aparezca suelo inadecuado en los taludes o en la explanada, el Director de las Obras podrá requerir del Contratista que retire esos materiales y los sustituya por material de relleno apropiado. Antes y después de la excavación y de la colocación de este relleno se tomarán perfiles transversales.

15.3.7 Taludes

La excavación de los taludes se realizará adecuadamente para no dañar su superficie final, evitar la decompresión prematura o excesiva de su pie e impedir cualquier otra causa que pueda comprometer la estabilidad de la excavación final. En el caso que la excavación del talud sea definitiva y se realice mediante perforación y voladura de roca, se cumplirá lo dispuesto en el artículo "Excavación especial de taludes en roca" del Pg3.

Las zanjas que, de acuerdo con el Proyecto, deban ser ejecutadas en el pie del talud, se excavarán de forma que el terreno afectado no pierda resistencia debido a la deformación de las paredes de la zanja o a un drenaje defectuoso de ésta. La zanja se mantendrá abierta el tiempo mínimo indispensable, y el material de relleno se compactará cuidadosamente. Asimismo se tendrá especial cuidado en limitar la longitud de la zanja abierta al mismo tiempo, a efectos de disminuir los efectos antes citados.

Cuando sea preciso adoptar medidas especiales para la protección superficial del talud, tales como bulones, gunitado, plantaciones superficiales, revestimiento, cunetas de guarda, etc., dichos trabajos deberán realizarse tan pronto como la excavación del talud lo permita.

Se procurará dar un aspecto a las superficies finales de los taludes, tanto si se recubren con tierra vegetal como si no, que armonice en lo posible con el paisaje natural existente. En el caso de emplear gunita, se le añadirán colorantes a efectos de que su acabado armonice con el terreno circundante.

La transición de desmante a terraplén se realizará de forma gradual, ajustando y suavizando las pendientes, y adoptándose las medidas de drenaje necesarias para evitar aporte de agua a la base del terraplén.

En el caso de que los taludes presenten desperfectos antes de la recepción de las obras, el Contratista eliminará los materiales desprendidos o movidos y realizará urgentemente las reparaciones complementarias ordenadas por el Director de las Obras. Si dichos desperfectos son imputables a ejecución inadecuada o a incumplimiento de las instrucciones del Director de las Obras, el Contratista será responsable de los daños y sobrecostos ocasionados.

15.3.8 Contactos entre desmontes y terraplenes

Se cuidarán especialmente estas zonas de contacto en las que la excavación se ampliará hasta que la coronación del terraplén penetre en ella en toda su sección, no admitiéndose secciones en las que el apoyo de la coronación del terraplén y el fondo de excavación estén en planos distintos.

En estos contactos se estudiarán especialmente en el Proyecto el drenaje de estas zonas y se contemplarán las medidas necesarias para evitar su inundación o saturación de agua.

15.3.9 Tolerancia geométrica de terminación de las obras

En Director de las Obras definirá las tolerancias del acabado. Con la precisión que se considere admisible en función de los medios previstos para la ejecución de las obras y en base a los mismos serán fijados al menos las siguientes tolerancias:

- Tolerancia máxima admisible, expresada en centímetros (cm), entre los planos o superficies de los taludes previstos en el Proyecto y los realmente construidos, quedando fijada la zona en la que el talud sería admisible y en la que sería rechazado debiendo volver el Contratista a reperfilar el mismo.
- Tolerancia máxima admisible, expresada en centímetros (cm), en la desviación sobre los planos o superficies de la explanación entre los previstos en el Proyecto y los realmente construidos, quedando definida la zona en la que la superficie de la explanación sería admisible y en la que sería rechazada debiendo el Contratista proceder a su rectificación de acuerdo con lo que para ello ordene el Director de las Obras.
- Tolerancia máxima admisible en pendientes y fondos de cunetas, así como de su situación en planta, expresada en centímetros (cm), sobre los planos previstos en el Proyecto y los realmente construidos, quedando definida la obra admisible y la que

sería rechazada debiendo el Contratista proceder a su rectificación de acuerdo con lo que para ello ordene el Director de las Obras.

- Tolerancia máxima en drenajes, tanto en cuanto a pendiente y fondos de los mismos como en planta, expresada en centímetros (cm), sobre los planos previstos en el Proyecto y lo realmente construido, quedando definida la obra admisible y la que sería rechazada debiendo el Contratista proceder a su rectificación de acuerdo con lo que para ello ordene el Director de las Obras.

Todo tipo de operaciones de rectificación por incumplimiento de tolerancias no será de abono al Contratista corriendo todas estas operaciones de su cuenta.

15.4 Medición y abono

En el caso de explanaciones, la excavación se abonará por metros cúbicos (m³) medidos sobre planos de perfiles transversales, una vez comprobado que dichos perfiles son correctos.

En el precio se incluyen los procesos de formación de los posibles caballeros, el pago de cánones de ocupación, y todas las operaciones necesarias y costos asociados para la completa ejecución de la unidad.

Los préstamos no se medirán en origen, ya que su cubicación se deducirá de los correspondientes perfiles de terraplén. De no ser así, esta excavación se considerará incluida dentro de la unidad de terraplén.

Las medidas especiales para la protección superficial del talud se medirán y abonarán siguiendo el criterio establecido en el Proyecto para las unidades respectivas.

No serán de abono los excesos de excavación sobre las secciones definidas en el Proyecto, o las órdenes escritas del Director de las Obras, ni los rellenos compactados que fueran precisos para reconstruir la sección ordenada o proyectada.

El Director de las Obras podrá obligar al Contratista a rellenar las sobreexcavaciones realizadas, con las especificaciones que aquél estime oportunas, no siendo esta operación de abono.

Todas las excavaciones se medirán una vez realizadas y antes de que sobre ellas se efectúe ningún tipo de relleno. En el caso de que el Contratista cerrase la excavación antes de conformada la medición se entenderá que se aviene a lo que unilateralmente determine el Director de las Obras.

15.5 Normativa

PG-3 – Obras, carreteras y puentes

16. OBRA CIVIL. EXPLANACIONES. EXCAVACIÓN EN ZANJAS Y POZOS

16.1 Definición

Consiste en el conjunto de operaciones necesarias para abrir zanjas y pozos. Su ejecución incluye las operaciones de excavación, entibación, posibles agotamientos, nivelación y evacuación del terreno, y el consiguiente transporte de los productos removidos a depósito o lugar de empleo.

16.2 Clasificación de las excavaciones

Serán aplicables las prescripciones del documento "Excavación de la explanación y préstamos" del Pg3.

16.3 Ejecución de las obras

16.3.1 Principios generales

El Contratista notificará al Director de las Obras, con la antelación suficiente, el comienzo de cualquier excavación, a fin de que éste pueda efectuar las mediciones necesarias sobre el terreno inalterado. El terreno natural adyacente al de la excavación no se modificará ni removerá sin autorización del Director de las Obras.

Una vez efectuado el replanteo de las zanjas y pozos, el Director de las Obras autorizará la iniciación de las obras de excavación. La excavación continuará hasta llegar a la profundidad señalada en los planos y obtenerse una superficie firme y limpia a nivel. No obstante, el Director de las Obras podrá modificar tal profundidad si, a la vista de las condiciones del terreno, lo estima necesario a fin de asegurar una cimentación satisfactoria.

Se vigilarán con detalle las franjas que bordean la excavación.

También estará obligado el Contratista a efectuar la excavación de material inadecuado para la cimentación, y su sustitución por material apropiado, siempre que se lo ordene el Director de las Obras.

Se tomarán las precauciones necesarias para impedir la degradación del terreno de fondo de excavación en el intervalo de tiempo que medie entre la excavación y la ejecución de la cimentación u obra de que se trate.

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

16.3.2 Entibación

En aquellos casos en que se hayan previsto excavaciones con entibación, el Contratista podrá proponer al Director de las Obras efectuarlas sin ella, explicando y justificando de manera exhaustiva las razones que apoyen su propuesta. El Director de las Obras podrá autorizar tal modificación, sin que ello suponga responsabilidad subsidiaria alguna. Si en el Contrato no figurasen excavaciones con entibación y el Director de las Obras, por razones de seguridad, estimase conveniente que las excavaciones se ejecuten con ella, podrá ordenar al Contratista la utilización de entibaciones, sin considerarse esta operación de abono independiente.

16.3.3 Drenaje

Cuando aparezca agua en las zanjas o pozos que se están excavando, se utilizarán los medios e instalaciones auxiliares necesarios para agotarla. El agotamiento desde el interior de una cimentación deberá ser hecho de forma que no provoque la segregación de los materiales que han de componer el hormigón de cimentación, y en ningún caso se efectuará desde el interior del encofrado antes de transcurridas veinticuatro horas desde el hormigonado. El Contratista someterá a la aprobación del Director de las Obras los planos de detalle y demás documentos que expliquen y justifiquen los métodos de construcción propuestos.

16.3.4 Taludes

En el caso de que los taludes de las zanjas o pozos, ejecutados de acuerdo con los planos y órdenes del Director de las Obras, resulten inestables y, por tanto, den origen a desprendimientos antes de la recepción de las obras, el Contratista eliminará los materiales desprendidos.

16.3.5 Limpieza del fondo

Los fondos de las excavaciones se limpiarán de todo el material suelto o flojo y sus grietas y hendiduras se rellenarán adecuadamente. Asimismo, se eliminarán todas las rocas sueltas o desintegradas y los estratos excesivamente delgados. Cuando los cimientos apoyen sobre material cohesivo, la excavación de los últimos treinta centímetros (30 cm) no se efectuará hasta momentos antes de construir aquéllos, y previa autorización del Director de las Obras.

16.3.6 Empleo de los productos de excavación

Serán aplicables las prescripciones del apartado “Excavación de la Explanación y Préstamos” del Pg3.

16.3.7 Caballeros

Serán aplicables las prescripciones del apartado “Excavación de la Explanación y Préstamos” del Pg3.

16.4 Excesos inevitable

Los sobrecargos de excavación necesarios para la ejecución de la obra deberán estar aprobados por el Director de las Obras.

16.5 Tolerancias de las superficies acabadas

El fondo y paredes laterales de las zanjas y pozos terminados tendrán la forma y dimensiones exigidas en los Planos, con las modificaciones debidas a los excesos inevitables autorizados, y deberán refinarse hasta conseguir una diferencia inferior a cinco centímetros (5 cm) respecto de las superficies teóricas.

Las sobreexcavaciones no autorizadas deberán rellenarse de acuerdo con las especificaciones definidas por el Director de las Obras, no siendo esta operación de abono independiente.

16.6 Medición y abono

La excavación en zanjas o pozos se abonará por metros cúbicos (m³) deducidos a partir de las secciones en planta y de la profundidad ejecutada.

Se abonarán los excesos autorizados e inevitables.

El precio incluye las entibaciones, agotamientos, transportes de productos a vertedero, posibles cánones, y el conjunto de operaciones y costes necesarios para la completa ejecución de la unidad.

No serán de abono los excesos de excavación no autorizados, ni el relleno necesario para reconstruir la sección tipo teórica, por defectos imputables al Contratista ni las excavaciones y movimientos de tierra considerados en otras unidades de obra.

16.7 Normativa

PG-3 – Obras, carreteras y puentes

17. OBRA CIVIL. EXPLANACIONES. RELLENOS LOCALIZADOS

17.1 Definición

Esta unidad consiste en la extensión y compactación de suelos, procedentes de excavaciones o préstamos, en relleno de zanjas, trasdós de obras de fábrica, cimentación o apoyo de estribos o cualquier otra zona, que por su reducida extensión, compromiso estructural u otra causa no permita la utilización de los mismos equipos de maquinaria con que se lleva a cabo la ejecución del resto del relleno, o bien exija unos cuidados especiales en su construcción.

En la dirección longitudinal de la calzada soportada, los rellenos localizados de trasdós de obra de fábrica, "cuñas de transición", tendrán una longitud mínima de al menos diez metros (10 m) desde el trasdós de la obra de fábrica. Caso de existir losa de transición, dicha longitud mínima habrá de ser además superior a dos (2) veces la dimensión de la losa en la referida dirección longitudinal. A partir de dicha dimensión mínima, la transición entre el relleno

localizado y el relleno normal tendrá, siempre en la dirección longitudinal de la calzada soportada, una pendiente máxima de un medio (1V:2H).

No se consideran incluidos dentro de esta unidad los rellenos localizados de material con misión específica drenante, a los que hace referencia el artículo "Rellenos localizados de material drenante" del Pg3 y que se realizarán de acuerdo a este último.

17.2 Zonas de los rellenos

En los rellenos localizados que formen se distinguirán las mismas zonas que en los terraplenes.

17.3 Materiales

Se utilizarán solamente suelos adecuados y seleccionados según el artículo "Terraplenes" del Pg3.

Se emplearán suelos adecuados o seleccionados, siempre que su CBR según UNE 103502, correspondiente a las condiciones de compactación exigidas, sea superior a diez (10), y en el caso de trasdós de obra de fábrica superior a veinte (20).

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

17.4 Equipo necesario para la ejecución de las obras

Los equipos de extendido, humectación y compactación serán los apropiados para garantizar la ejecución de la obra de acuerdo con las exigencias de este Pliego y las indicaciones del Director de las Obras.

17.5 Ejecución de las obras

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia medioambiental, de seguridad y salud, y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

17.5.1 Preparación de la superficie de asiento de los rellenos localizados

En las zonas de ensanche o recrecimiento de antiguos rellenos se prepararán éstos a fin de conseguir su unión con el nuevo relleno. Las operaciones encaminadas a tal objeto serán las indicadas por el Director de las Obras.

Si el material procedente del antiguo talud, cuya remoción sea necesaria, es del mismo tipo que el nuevo y cumple las condiciones exigidas para la zona de relleno de que se trate, se mezclará con el del nuevo relleno para su compactación simultánea; en caso contrario, el Director de las Obras decidirá si dicho material debe transportarse a vertedero.

Cuando el relleno haya de asentarse sobre un terreno en el que existan corrientes de agua superficial o subálvea, se desviarán las primeras y captarán y conducirán las últimas fuera del

área donde vaya a construirse el relleno antes de comenzar la ejecución. Estas obras, que tendrán el carácter de accesorias, se ejecutarán con arreglo a las instrucciones del Director de las Obras.

Salvo en el caso de zanjas de drenaje, si el relleno hubiera de construirse sobre terreno inestable, turba o arcilla blanda, se asegurará la eliminación de este material o su estabilización.

17.5.2 Extensión y compactación

Los materiales de relleno se extenderán en tongadas sucesivas de espesor uniforme y sensiblemente paralelas a la explanada. El espesor de estas tongadas será lo suficientemente reducido para que, con los medios disponibles, se obtenga en todo su espesor el grado de compactación exigido. Salvo especificación en contra del Director de las Obras, el espesor de las tongadas medido después de la compactación no será superior a veinticinco centímetros (25 cm).

Los espesores finales de las tongadas se señalarán y numerarán con pintura, según el caso, en el trasdós de la obra de fábrica, paramentos o cuerpo de la tubería, para el adecuado control de extendido y compactación.

Únicamente se podrá utilizar la compactación manual en los casos previstos en el Proyecto, y en aquellos que sean expresamente autorizados por el Director de las Obras.

Salvo que el Director de las Obras lo autorice, en base a estudio firmado por técnico competente, el relleno junto a obras de fábrica o entibaciones se efectuará de manera que las tongadas situadas a uno y otro lado de la misma se hallen al mismo nivel. En el caso de obras de fábrica con relleno asimétrico, los materiales del lado más alto no podrán extenderse ni compactarse antes de que hayan transcurrido siete días (7 d) desde la terminación de la fábrica contigua, salvo indicación del Proyecto o autorización del Director de las Obras y siempre previa comprobación del grado de resistencia alcanzado por la obra de fábrica. Junto a las estructuras porticadas no se iniciará el relleno hasta que el dintel no haya sido terminado y haya alcanzado la resistencia que indique el Proyecto o, en su defecto, el Director de las Obras.

El drenaje de los rellenos contiguos a obras de fábrica se ejecutará simultáneamente a dicho relleno, para lo cual el material drenante estará previamente acopiado de acuerdo con las órdenes del Director de las Obras.

Los materiales de cada tongada serán de características uniformes y si no lo fueran, se conseguirá esta uniformidad mezclándolos convenientemente con los medios adecuados.

Durante la ejecución de las obras, la superficie de las tongadas deberá tener la pendiente transversal necesaria para asegurar la evacuación de las aguas sin peligro de erosión.

Una vez extendida cada tongada, se procederá a su humectación, si es necesario. El contenido óptimo de humedad se determinará en obra, a la vista de la maquinaria disponible y de los resultados que se obtengan de los ensayos realizados.

En los casos especiales en que la humedad del material sea excesiva para conseguir la compactación prevista, se tomarán las medidas adecuadas, pudiéndose proceder a la desecación por oreo o a la adición y mezcla de materiales secos o sustancias apropiadas.

Conseguida la humectación más conveniente, se procederá a la compactación mecánica de la tongada.

Las zonas que, por su forma, pudieran retener agua en su superficie, serán corregidas inmediatamente por el Contratista.

Se exigirá una densidad después de la compactación, en coronación, no inferior al 100 por 100 (100%) de la máxima obtenida en el ensayo Próctor modificado según UNE 103501 y, en el resto de las zonas, no inferior al 95 por 100 (95%) de la misma. En todo caso la densidad obtenida habrá de ser igual o mayor que la de las zonas contiguas del relleno.

17.5.3 Relleno de zanjas para instalación de tuberías

En el caso de zanja serán de aplicación los apartados anteriores en tanto en cuanto no contrarién a lo expuesto en este apartado, en otro caso será de aplicación lo aquí expuesto.

La decisión sobre la cama de apoyo de la tubería en el terreno, granular o de hormigón, y su espesor, dependerá del tipo de tubo y sus dimensiones, la clase de juntas y la naturaleza del terreno, vendrá definida por el Director de las Obras.

Una vez realizadas, si procede, las pruebas de la tubería instalada, para lo cual se habrá hecho un relleno parcial de la zanja dejando visibles las juntas, se procederá al relleno definitivo de la misma, previa aprobación del Director de las Obras.

El relleno de la zanja se subdividirá en dos zonas: la zona baja, que alcanzará una altura de unos treinta centímetros (30 cm) por encima de la generatriz superior del tubo y la zona alta que corresponde al resto del relleno de la zanja.

En la zona baja el relleno será de material no plástico, preferentemente granular, y sin materia orgánica. El tamaño máximo admisible de las partículas será de cinco centímetros (5 cm), y se dispondrán en capas de quince a veinte centímetros (15 a 20 cm) de espesor, compactadas mecánicamente hasta alcanzar un grado de compactación no menor del 95 por 100 (95 %) del Próctor modificado según UNE 103501.

En la zona alta de la zanja el relleno se realizará con un material que no produzca daños en la tubería. El tamaño máximo admisible de las partículas será de diez centímetros (10 cm) y se

colocará en tongadas pseudoparalelas a la explanada, hasta alcanzar un grado de compactación no menor del 100 por 100 (100 %) del Próctor modificado, según UNE 103501.

En el caso de zanjas excavadas en terraplenes o en rellenos todo-uno la densidad obtenida después de compactar el relleno de la zanja habrá de ser igual o mayor que la de los materiales contiguos. En el caso de zanjas sobre terrenos naturales o sobre pedraplenes, este objetivo habrá de alcanzarse si es posible. En caso contrario, se estará a lo indicado por el por el Director de las Obras, pero en ningún caso, por debajo de los valores mínimos de densidad indicados en los párrafos anteriores de este Pliego.

Se prestará especial cuidado durante la compactación de los rellenos, de modo que no se produzcan ni movimientos ni daños en la tubería, a cuyo efecto se reducirá, si fuese necesario, el espesor de las tongadas y la potencia de la maquinaria de compactación.

Cuando existan dificultades en la obtención de los materiales indicados o de los niveles de compactación exigidos para la realización de los rellenos, el Contratista podrá proponer al Director de las Obras, una solución alternativa sin sobre coste adicional.

17.6 Limitaciones de la ejecución

Los rellenos localizados se ejecutarán cuando la temperatura ambiente, a la sombra, sea superior a dos grados Celsius (2° C); debiendo suspenderse los trabajos cuando la temperatura descienda por debajo de dicho límite.

Sobre las capas en ejecución debe prohibirse la acción de todo tipo de tráfico hasta que se haya completado su compactación.

17.8 Medición y abono

Los rellenos localizados se abonarán por metros cúbicos (m³) medidos sobre los planos de perfiles transversales.

El precio incluye la obtención del suelo, cualquiera que sea la distancia del lugar de procedencia, carga y descarga, transporte, colocación, compactación y cuantos medios, materiales y operaciones intervienen en la completa y correcta ejecución del relleno, no siendo, por lo tanto, de abono como suelo procedente de préstamos, salvo especificación en contra.

El precio será único, cualquiera que sea la zona del relleno y el material empleado.

17.9 Normativa

PG-3 – Obras, carreteras y puentes

UNE 103501 Geotecnia. Ensayo de compactación. Próctor modificado.

UNE 103502 Método de ensayo para determinar en laboratorio el índice C.B.R. de un suelo.

18. OBRA CIVIL. FIRMES. ZAHORRAS

18.1 Definición

Se define como zahorra el material granular, de granulometría continua, utilizado como capa de firme. Se denomina zahorra artificial al constituido por partículas total o parcialmente trituradas, en la proporción mínima que se especifique en cada caso. Zahorra natural es el material formado básicamente por partículas no trituradas.

La ejecución de las capas de firme con zahorra incluye las siguientes operaciones:

- Estudio del material y obtención de la fórmula de trabajo.
- Preparación de la superficie que vaya a recibir la zahorra.
- Preparación del material, si procede, y transporte al lugar de empleo.
- Extensión, humectación, si procede, y compactación de la zahorra.

18.2 Materiales

Lo dispuesto en este artículo se entenderá sin perjuicio de lo establecido en el Real Decreto 1630/92 (modificado por el Real Decreto 1328/95), por el que se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE; en particular, en lo referente a los procedimientos especiales de reconocimiento se estará a lo establecido en su artículo 9.

Independientemente de lo anterior, se estará en todo caso, además, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de almacenamiento y transporte de productos de construcción.

18.2.1 Características generales

Los materiales para la zahorra artificial procederán de la trituración, total o parcial, de piedra de cantera o de grava natural. Para la zahorra natural procederán de graveras o depósitos naturales, suelos naturales o una mezcla de ambos.

Para las categorías de tráfico pesado T2 a T4 se podrán utilizar materiales granulares reciclados, áridos siderúrgicos, subproductos y productos inertes de desecho, en cumplimiento del Acuerdo de Consejo de Ministros de 1 de junio de 2001 por el que se aprueba el Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001-2006, siempre que cumplan las prescripciones técnicas exigidas en este artículo, y se declare el origen de los materiales, tal

como se establece en la legislación comunitaria sobre estas materias. Para el empleo de estos materiales se exige que las condiciones para su tratamiento y aplicación estén fijadas expresamente en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

El Director de las Obras, podrá fijar especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear materiales cuya naturaleza o procedencia así lo requiriese.

Los materiales para las capas de zahorra no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o de alteración física o química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que, presumiblemente, puedan darse en el lugar de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del firme, o contaminar el suelo o corrientes de agua.

El árido siderúrgico de acería deberá presentar una expansividad inferior al cinco por ciento (5%), según la UNE-EN 1744-1. La duración del ensayo será de veinticuatro horas (24 h) cuando el contenido de óxido de magnesio, según la UNE-EN 196-2, sea menor o igual al cinco por ciento (5%) y de ciento sesenta y ocho horas (168 h) en los demás casos.

El árido siderúrgico procedente de horno alto no presentará desintegración por el silicato bicálcico ni por el hierro, según la UNE-EN 1744-1.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá fijar los ensayos para determinar la inalterabilidad del material granular. Si se considera conveniente, para caracterizar los componentes que puedan ser lixiviados y que puedan significar un riesgo potencial para el medio ambiente o para los elementos de construcción situados en sus proximidades se empleará la NLT-326.

18.2.2 Composición química

El contenido ponderal de compuestos de azufre totales (expresados en SO₃), determinado según la UNE-EN 1744-1, será inferior al cinco por mil (0,5%) donde los materiales estén en contacto con capas tratadas con cemento, e inferior al uno por ciento (1%) en los demás casos.

18.2.3 Limpieza

Los materiales estarán exentos de terrones de arcilla, marga, materia orgánica, o cualquier otra que pueda afectar a la durabilidad de la capa.

En el caso de las zahorras artificiales el coeficiente de limpieza, según el anexo C de la UNE 146130, deberá ser inferior a dos (2).

El equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8, del material de la zahorra artificial será mayor de treinta y cinco ($EA > 35$). De no cumplirse esta condición, su valor de azul de metileno, según la UNE-EN 933-9, deberá ser inferior a diez (10), y simultáneamente, el

equivalente de arena no deberá ser inferior en más de cinco unidades a los valores indicados en la tabla.

En el caso de la zahorra natural, el Director de Obra podrá disminuir en cinco (5) unidades el valor exigido.

T00 a T1	T2 a T4	Arcenes de T3 y T4
EA > 40	Arcenes de T00 a 2 EA > 35	EA >30

18.2.4 Plasticidad

El material será "no plástico", según la UNE 103104, para las zahorras artificiales en cualquier caso; así como para las zahorras naturales en carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T3; en carreteras con categoría de tráfico pesado T4 el límite líquido de las zahorras naturales, según la UNE 103103, será inferior a veinticinco (25) y su índice de plasticidad, según la UNE 103104, será inferior a seis (6).

En el caso de arcenes no pavimentados, de las categorías de tráfico pesado T32 y T4 (T41 y T42), el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá admitir, tanto para las zahorras artificiales como para las naturales que el índice de plasticidad según la UNE 103104, sea inferior a diez (10), y que el límite líquido, según la UNE 103103, sea inferior a treinta (30).

18.2.5 Resistencia a la fragmentación

El coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2, de los áridos para la zahorra artificial no deberá ser superior a los valores indicados en la tabla.

Categoría tráfico pesado	
T00 a T2	T3, T4 y arcenes
30	35

Para materiales reciclados procedentes de capas de aglomerado de firmes de carretera o de demoliciones de hormigones de resistencia a compresión final superior a treinta y cinco megapascales (35 MPa), así como para áridos siderúrgicos, el valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser superior en cinco (5) unidades a los valores que se exigen en la tabla 2, siempre y cuando su composición granulométrica esté adaptada al huso ZAD20, especificado en la tabla 3.1.

En el caso de los áridos para la zahorra natural, el valor del coeficiente de Los Ángeles será superior en cinco (5) unidades a los valores que se exigen en la tabla 2, cuando se trate de áridos naturales. Para materiales reciclados procedentes de capas de aglomerado de firmes de carretera o de demoliciones de hormigones y para áridos siderúrgicos a emplear como zahorras naturales el valor del coeficiente de Los Ángeles podrá ser superior hasta en diez (10) unidades a los valores que se exigen en la tabla 2.

18.2.6 Forma

En el caso de las zahorras artificiales, el índice de lajas de las distintas fracciones del árido grueso, según la UNE-EN 933-3, deberá ser inferior a treinta y cinco (35).

18.2.7 Angulosidad

El porcentaje mínimo de partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5, para las zahorras artificiales será del cincuenta por ciento (50%).

18.3 Tipo y composición del material

La granulometría del material, según la UNE-EN 933-1, deberá estar comprendida dentro de alguno de los husos fijados en la tabla para las zahorras artificiales y en la tabla para las zahorras naturales.

En todos los casos, el cernido por el tamiz 0,063 mm de la UNE-EN 933-2 será menor que los dos tercios ($2/3$) del cernido por el tamiz 0,250 mm de la UNE-EN 933-2.

18.4 Equipo necesario para la ejecución de las obras

Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental, de seguridad y salud y de transporte en lo referente a los equipos empleados en la ejecución de las obras.

No se podrá utilizar en la ejecución de las zahorras ningún equipo que no haya sido previamente aprobado por el Director de las Obras, después de la ejecución del tramo de prueba.

18.4.1 Central de fabricación de la zahorra artificial

La fabricación de la zahorra artificial para su empleo en firmes de calzadas de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T3 se realizará en centrales de mezcla. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares fijará el tipo y la producción horaria mínima de la central.

En cualquier caso, la instalación deberá permitir dosificar por separado las distintas fracciones de árido y el agua en las proporciones y con las tolerancias fijadas en la fórmula de trabajo. El número mínimo de fracciones para las zahorras artificiales será de dos (2).

Las tolvas para los áridos deberán tener paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, provistas de una rejilla que permita limitar el tamaño máximo, así como de un rebosadero que evite que un exceso de contenido afecte al funcionamiento del sistema de clasificación. Se dispondrán con una separación suficiente para evitar contaminaciones entre ellas. Estas tolvas deberán, asimismo, estar provistas a su salida de dispositivos ajustables de dosificación.

Los sistemas de dosificación de los materiales podrán ser volumétricos; no obstante, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, podrá establecer que sean ponderales, para la fabricación de zahorras artificiales que se vayan a emplear en calzadas de nueva construcción de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T1 y cuando la obra tenga una superficie de pavimentación superior a setenta mil metros cuadrados (70.000 m²).

Si se utilizan centrales de fabricación con dosificadores ponderales, éstos deberán ser independientes; al menos uno (1) para cada una de las fracciones del árido. La precisión del dosificador será superior al dos por ciento ($\pm 2\%$).

El agua añadida se controlará mediante un caudalímetro, cuya precisión sea superior al dos por ciento ($\pm 2\%$), y un totalizador con indicador en la cabina de mando de la central.

Los equipos de mezcla deberán ser capaces de asegurar la completa homogeneización de los componentes dentro de las tolerancias fijadas.

18.4.2 Elementos de transporte

La zahorra se transportará al lugar de empleo en camiones de caja abierta, lisa y estanca, perfectamente limpia. Deberán disponer de lonas o cobertores adecuados para protegerla durante su transporte. Por seguridad de la circulación vial será inexcusable el empleo de cobertores para el transporte por carreteras en servicio.

18.4.3 Equipo de extensión

En calzadas de nueva construcción de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T1, y cuando la obra tenga una superficie superior a los setenta mil metros cuadrados (70.000 m²), para la puesta en obra de las zahorras artificiales se utilizarán extendedoras automotrices, que estarán dotadas de los dispositivos necesarios para extender el material con la configuración deseada y proporcionarle un mínimo de compactación, así como de sistemas automáticos de nivelación.

En el resto de los casos el Director de las Obras, deberá fijar y aprobar los equipos de extensión de las zahorras.

En el caso de utilizarse extendedoras que no estén provistas de una tolva para la descarga del material desde los camiones, ésta deberá realizarse a través de dispositivos de preextensión (carretones o similares) que garanticen un reparto homogéneo y uniforme del material delante del equipo de extensión.

Se comprobará, en su caso, que los ajustes del enrasador y de la maestra se atienen a las tolerancias mecánicas especificadas por el fabricante, y que dichos ajustes no han sido afectados por el desgaste.

Las anchuras mínima y máxima de extensión se fijarán por el Director de las Obras. Si al equipo de extensión pudieran acoplarse piezas para aumentar su anchura, éstas deberán quedar alineadas con las existentes en la extendidora.

18.4.4 Equipo de compactación

Todos los compactadores deberán ser autopropulsados y tener inversores del sentido de la marcha de acción suave.

La composición del equipo de compactación se determinará en el tramo de prueba, y deberá estar compuesto como mínimo por un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos.

El rodillo metálico del compactador vibratorio tendrá una carga estática sobre la generatriz no inferior a trescientos newtons por centímetro (300 N/cm) y será capaz de alcanzar una masa de al menos quince toneladas (15 t), con amplitudes y frecuencias de vibración adecuadas.

Los compactadores con rodillos metálicos no presentarán surcos ni irregularidades en ellos.

El Director de las Obras aprobará el equipo de compactación que se vaya a emplear, su composición y las características de cada uno de sus elementos, que serán los necesarios para conseguir una compacidad adecuada y homogénea de la zahorra en todo su espesor, sin producir roturas del material granular ni arrollamientos.

En los lugares inaccesibles para los equipos de compactación convencionales, se emplearán otros de tamaño y diseño adecuados para la labor que se pretenda realizar.

18.5 Ejecución de las obras

18.5.1 Estudio del material y obtención de la fórmula de trabajo

La producción del material no se iniciará hasta que se haya aprobado por el Director de las Obras la correspondiente fórmula de trabajo, establecida a partir de los resultados del control de procedencia del material.

Dicha fórmula señalará:

- En su caso, la identificación y proporción (en seco) de cada fracción en la alimentación.
- La granulometría de la zahorra por los tamices establecidos en la definición del huso granulométrico.
- La humedad de compactación.
- La densidad mínima a alcanzar.

Si la marcha de las obras lo aconseja el Director de las Obras podrá exigir la modificación de la fórmula de trabajo. En todo caso se estudiará y aprobará una nueva si varía la procedencia de los componentes, o si, durante la producción, se rebasaran las tolerancias granulométricas establecidas en la norma.

Característica		Unidad	Categoría de tráfico pesado	
			T00 a T1	T2 a T4 y arcenes
Cernido por los tamices UNE-EN 933-2	> 4 mm	% sobre la masa total	±6	±8
	4 mm		±4	±6
	0,063 mm		±1,5	±2
Humedad de compactación		% respecto de la óptima	±1	- 1,5 / + 1

Ilustración 31- tolerancias granulométricas

18.5.2 Preparación de la superficie que va a recibir la zahorra

Una capa de zahorra no se extenderá hasta que se haya comprobado que la superficie sobre la que haya de asentarse tenga las condiciones de calidad y forma previstas, con las tolerancias establecidas.

Se comprobarán la regularidad y el estado de la superficie sobre la que se vaya a extender la zahorra. El Director de las Obras, indicará las medidas encaminadas a restablecer una regularidad superficial aceptable y, en su caso, a reparar las zonas deficientes.

18.5.3 Preparación del material

Cuando las zahorras se fabriquen en central la adición del agua de compactación se realizará también en central, salvo que el Director de Obras permita expresamente la humectación in situ.

En los demás casos, antes de extender una tongada se procederá, si fuera necesario, a su homogeneización y humectación. Se podrán utilizar para ello la humectación previa en central u otros procedimientos sancionados por la práctica que garanticen, a juicio del Director de las Obras, las características previstas del material previamente aceptado, así como su uniformidad.

18.5.4 Extensión de la zahorra

Una vez aceptada la superficie de asiento se procederá a la extensión de la zahorra, en tongadas de espesor no superior a treinta centímetros (30 cm), tomando las precauciones necesarias para evitar segregaciones y contaminaciones.

Todas las operaciones de aportación de agua deberán tener lugar antes de iniciar la compactación. Después, la única admisible será la destinada a lograr, en superficie, la humedad necesaria para la ejecución de la tongada siguiente.

18.5.5 Compactación de la zahorra

Conseguida la humedad más conveniente, se procederá a la compactación de la tongada, que se continuará hasta alcanzar la densidad especificada. La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras en función de los resultados del tramo de prueba.

La compactación se realizará de manera continua y sistemática. Si la extensión de la zahorra se realiza por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Las zonas que, por su reducida extensión, pendiente o proximidad a obras de paso o de desagüe, muros o estructuras, no permitan el empleo del equipo que normalmente se esté utilizando, se compactarán con medios adecuados, de forma que las densidades que se alcancen no resulten inferiores, en ningún caso, a las exigidas a la zahorra en el resto de la tongada.

18.6 Tramo de prueba

Antes de iniciarse la puesta en obra de la zahorra será preceptiva la realización de un tramo de prueba, para comprobar la fórmula de trabajo, la forma de actuación de los equipos de extensión y de compactación, y especialmente el plan de compactación. El tramo de prueba se realizará sobre una capa de apoyo similar en capacidad de soporte y espesor al resto de la obra.

Durante la ejecución del tramo de prueba se analizará la correspondencia, en su caso, entre los métodos de control de la humedad y densidad in situ, establecidos, y otros métodos rápidos de control.

El Director de las Obras, fijará la longitud del tramo de prueba, que no será en ningún caso inferior a cien metros (100 m). El Director de las Obras determinará si es aceptable su realización como parte integrante de la unidad de obra definitiva.

A la vista de los resultados obtenidos, el Director de las Obras definirá:

- Si es aceptable o no la fórmula de trabajo:
 - En el primer caso se podrá iniciar la ejecución de la zahorra.
 - En el segundo, deberá proponer las actuaciones a seguir (estudio de una nueva fórmula, corrección parcial de la ensayada, modificación en los sistemas de puesta en obra, corrección de la humedad de compactación, etc.).

- Si son aceptables o no los equipos propuestos por el Contratista:
 - En el primer caso, definirá su forma específica de actuación.
 - En el segundo caso, el Contratista deberá proponer nuevos equipos o incorporar equipos suplementarios.

No se podrá proceder a la producción sin que el Director de las Obras haya autorizado el inicio en las condiciones aceptadas después del tramo de prueba.

18.7 Especificaciones de la unidad terminada

18.7.1 Densidad

Para las categorías de tráfico pesado T00 a T2, la compactación de la zahorra artificial deberá alcanzar una densidad no inferior a la que corresponda al cien por cien (100%) de la máxima de referencia, obtenida en el ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501.

En el caso de la zahorra natural o cuando la zahorra artificial se vaya a emplear en calzadas de carreteras con categoría de tráfico pesado T3 y T4 o en arcenes, se podrá admitir una densidad no inferior al noventa y ocho por ciento (98%) de la máxima de referencia obtenida en el ensayo Proctor modificado, según la UNE 103501.

18.7.2 Capacidad de soporte

El valor del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga del ensayo de carga con placa (Ev2), según la NLT-357, será superior al menor valor de los siguientes:

Los especificados en la siguiente tabla, establecida según las categorías de tráfico pesado:

Tipo de zahorra	Categoría de tráfico pesado			
	T00 a T1	T2	T3	T4 y arcenes
Artificial	180	150	100	80
Natural			80	60

Ilustración 32- Valores módulo compresibilidad

El valor exigido a la superficie sobre la que se apoya la capa de zahorra multiplicado por uno coma tres (1,3), cuando se trate de zahorras sobre coronación de explanadas.

Además de lo anterior, el valor de la relación de módulos $Ev2/Ev1$ será inferior a dos unidades y dos décimas (2,2).

18.7.3 Rasante, espesor y anchura

Dispuestos los sistemas de comprobación aprobados por el Director de las Obras, la rasante de la superficie terminada no deberá superar a la teórica en ningún punto ni quedar por debajo

de ella en más de quince milímetros (15 mm) en calzadas de carreteras con categoría de tráfico pesado T00 a T2, ni en más de veinte milímetros (20 mm) en el resto de los casos. El Director de las Obras podrán modificar los límites anteriores.

En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa extendida, que en ningún caso deberá ser inferior a la establecida en los Planos de secciones tipo. Asimismo el espesor de la capa no deberá ser inferior en ningún punto al previsto para ella en los Planos de secciones tipo; en caso contrario se procederá según el apartado “Espesor” de este pliego.

18.7.4 Regularidad superficial

El Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, deberá cumplir en zahorras artificiales lo fijado en la tabla, en función del espesor total (e) de las capas que se vayan a extender sobre ella.

Porcentaje de hectometros	Espesor total de las capas superiores (cm)		
	$e \geq 20$	$10 < e < 20$	$e \leq 10$
50	< 3,0	< 2,5	< 2,5
80	< 4,0	< 3,5	< 3,5
100	< 5,0	< 4,5	< 4,0

Ilustración 33- Regularidad superficial

Se comprobará que no existen zonas que retengan agua sobre la superficie, las cuales, si existieran, deberán corregirse por el Contratista a su cargo.

18.8 Limitaciones de la ejecución

Las zahorras se podrán poner en obra siempre que las condiciones meteorológicas no hubieran producido alteraciones en la humedad del material, tales que se superasen las tolerancias especificadas.

Sobre las capas recién ejecutadas se procurará evitar la acción de todo tipo de tráfico. Si esto no fuera posible, sobre las zahorras artificiales se dispondrá un riego de imprimación con una protección mediante la extensión de una capa de árido de cobertura,. Dicha protección se barrerá antes de ejecutar otra unidad de obra sobre las zahorras. En cualquier circunstancia, se procurará una distribución uniforme del tráfico de obra en toda la anchura de la traza. El Contratista será responsable de los daños originados, debiendo proceder a su reparación con arreglo a las instrucciones del Director de las Obras.

18.9 Control de calidad

18.9.1 Control de procedencia del material

Si con el material utilizado se aportara certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo o estuviese en posesión de una marca,

sello o distintivo de calidad homologado, según lo indicado en el apartado “Especificaciones técnicas y distintivos de calidad” de este pliego, los criterios descritos a continuación para realizar el control de procedencia del material no serán de aplicación obligatoria, sin perjuicio de las facultades que corresponden al Director de las Obras.

Antes de iniciar la producción, se reconocerá cada acopio, préstamo o procedencia, determinando su aptitud, según el resultado de los ensayos. El reconocimiento se realizará de la forma más representativa posible para cada tipo de material: mediante la toma de muestras en acopios, o a la salida de la cinta en las instalaciones de fabricación, o mediante sondeos, calicatas u otros métodos de toma de muestras.

Para cualquier volumen de producción previsto, se ensayará un mínimo de cuatro (4) muestras, añadiéndose una (1) más por cada diez mil metros cúbicos (10.000 m³) o fracción, de exceso sobre cincuenta mil metros cúbicos (50.000 m³).

Sobre cada muestra se realizarán los siguientes ensayos:

- Granulometría por tamizado, según la UNE-EN 933-1.
- Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.
- Coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.
- Equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8 y, en su caso, azul de metileno, según la UNE-EN 933-9.
- Índice de lajas, según la UNE-EN 933-3 (sólo para zahorras artificiales).
- Partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5 (sólo para zahorras artificiales).
- Humedad natural, según la UNE-EN 1097-5.

El Director de las Obras comprobará además:

- La retirada de la eventual montera en la extracción de la zahorra.
- La exclusión de vetas no utilizables.

18.9.2 Control de ejecución

1.1.1.5 Fabricación

Se examinará la descarga al acopio o en el tajo, desechando los materiales que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo aceptado en la fórmula de trabajo. Se acopiarán aparte aquéllos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, lajas, plasticidad, etc.

En su caso, se vigilará la altura de los acopios, el estado de sus separadores y de sus accesos.

En el caso de las zavorras artificiales preparadas en central se llevará a cabo la toma de muestras a la salida del mezclador. En los demás casos se podrá llevar a cabo la toma de muestras en los acopios.

Para el control de fabricación se realizarán los siguientes ensayos:

Por cada mil metros cúbicos (1.000 m³) de material producido, o cada día si se fabricase menos material, sobre un mínimo de dos (2) muestras, una por la mañana y otra por la tarde:

Equivalente de arena, según la UNE-EN 933-8 y, en su caso, azul de metileno, según la UNE-EN 933-9. Granulometría por tamizado, según la UNE-EN 933-1. -Por cada cinco mil metros cúbicos (5.000 m³) de material producido, o una (1) vez a la semana si se fabricase menos material: Límite líquido e índice de plasticidad, según las UNE 103103 y UNE 103104, respectivamente.

Proctor modificado, según la UNE 103501. Índice de lajas, según la UNE-EN 933-3 (sólo para zavorras artificiales). Partículas trituradas, según la UNE-EN 933-5 (sólo para zavorras artificiales). Humedad natural, según la UNE-EN 1097-5.

Por cada veinte mil metros cúbicos (20.000 m³) de material producido, o una (1) vez al mes si se fabricase menos material: Coeficiente de Los Ángeles, según la UNE-EN 1097-2.

El Director de las Obras podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad (1/2) si considerase que los materiales son suficientemente homogéneos, o si en el control de recepción de la unidad terminada se hubieran aprobado diez (10) lotes consecutivos.

1.1.1.6 Puesta en obra

Antes de verter la zavorra, se comprobará su aspecto en cada elemento de transporte y se rechazarán todos los materiales segregados.

Se comprobarán frecuentemente:

- El espesor extendido, mediante un punzón graduado u otro procedimiento aprobado por el Director de las Obras.
- La humedad de la zahorra en el momento de la compactación, mediante un procedimiento aprobado por el Director de las Obras.
- La composición y forma de actuación del equipo de puesta en obra y compactación, verificando: Que el número y tipo de compactadores es el aprobado. El lastre y la masa total de los compactadores. La presión de inflado en los compactadores de neumáticos. La frecuencia y la amplitud en los compactadores vibratorios. El número de pasadas de cada compactador.

18.9.3 Control de recepción de la unidad terminada

Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, al menor que resulte de aplicar los tres (3) criterios siguientes a una (1) sola tongada de zahorra:

- Una longitud de quinientos metros (500 m) de calzada.
- Una superficie de tres mil quinientos metros cuadrados (3.500 m²) de calzada.
- La fracción construida diariamente.

La realización de los ensayos in situ y la toma de muestras se hará en puntos previamente seleccionados mediante muestreo aleatorio, tanto en sentido longitudinal como transversal; de tal forma que haya al menos una toma o ensayo por cada hectómetro (1/hm).

Si durante la construcción se observaran defectos localizados, tales como blandones, se corregirán antes de iniciar el muestreo.

Se realizarán determinaciones de humedad y de densidad en emplazamientos aleatorios, con una frecuencia mínima de siete (7) por cada lote. En el caso de usarse sonda nuclear u otros métodos rápidos de control, éstos habrán sido convenientemente calibrados en la realización del tramo de prueba. En los mismos puntos donde se realice el control de la densidad se determinará el espesor de la capa de zahorra.

Se realizará un (1) ensayo de carga con placa, según la NLT-357, sobre cada lote. Se llevará a cabo una determinación de humedad natural en el mismo lugar en que se realice el ensayo de carga con placa.

Se comparará la rasante de la superficie terminada con la teórica establecida en los Planos del Proyecto, en el eje, quiebros de peralte si existieran, y bordes de perfiles transversales cuya separación no exceda de la mitad de la distancia entre los perfiles del Proyecto. En todos los semiperfiles se comprobará la anchura de la capa.

Se controlará la regularidad superficial del lote a partir de las veinticuatro horas (24 h) de su ejecución y siempre antes de la extensión de la siguiente capa, mediante la determinación del índice de regularidad internacional (IRI), según la NLT-330, que deberá cumplir lo especificado en el apartado “Regularidad superficial” de este pliego.

18.10 Criterios de aceptación o rechazo del lote

18.10.1 Densidad

La densidad media obtenida no será inferior a la especificada en el apartado “Densidad” de este pliego; no más de dos (2) individuos de la muestra podrán arrojar resultados de hasta dos (2) puntos porcentuales por debajo de la densidad especificada. De no alcanzarse los resultados exigidos, el lote se recompactará hasta conseguir la densidad especificada.

Los ensayos de determinación de humedad tendrán carácter indicativo y no constituirán, por sí solos, base de aceptación o rechazo.

18.10.2 Capacidad de soporte

El módulo de compresibilidad E_{v2} y la relación de módulos E_{v2}/E_{v1} , obtenidos en el ensayo de carga con placa, no deberán ser inferiores a los especificados en el apartado “Capacidad de soporte” de este pliego. De no alcanzarse los resultados exigidos, el lote se recompactará hasta conseguir los módulos especificados.

18.10.3 Espesor

El espesor medio obtenido no deberá ser inferior al previsto en los Planos de secciones tipo; no más de dos (2) individuos de la muestra podrán presentar resultados individuales que bajen del especificado en un diez por ciento (10%).

Si el espesor medio obtenido en la capa fuera inferior al especificado se procederá de la siguiente manera:

- Si el espesor medio obtenido en la capa fuera inferior al ochenta y cinco por ciento (85%) del especificado, se escarificará la capa en una profundidad mínima de quince centímetros (15 cm), se añadirá el material necesario de las mismas características y se volverá a compactar y refinar la capa por cuenta del Contratista.
- Si el espesor medio obtenido en la capa fuera superior al ochenta y cinco por ciento (85%) del especificado y no existieran problemas de encharcamiento, se podrá admitir siempre que se compense la merma de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa superior por cuenta del Contratista.

18.10.4 Rasante

Las diferencias de cota entre la superficie obtenida y la teórica establecida en los Planos del Proyecto no excederán de las tolerancias especificadas en el apartado “Rasante, espesor y anchura” de este pliego, ni existirán zonas que retengan agua.

Cuando la tolerancia sea rebasada por defecto y no existan problemas de encharcamiento, el Director de las Obras podrá aceptar la superficie siempre que la capa superior a ella compense la merma con el espesor adicional necesario sin incremento de coste para la Administración.

Cuando la tolerancia sea rebasada por exceso, éste se corregirá por cuenta del Contratista, siempre que esto no suponga una reducción del espesor de la capa por debajo del valor especificado en los Planos.

18.10.5 Regularidad superficial

En el caso de la zahorra artificial, si los resultados de la regularidad superficial de la capa terminada exceden los límites establecidos, se procederá de la siguiente manera:

- Si es en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se escarificará la capa en una profundidad mínima de quince centímetros (15 cm) y se volverá a compactar y refinar por cuenta del Contratista.
- Si es en menos de un diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado se aplicará una penalización económica del diez por ciento (10%).

18.11 Medición y abono

La zahorra se abonará por metros cúbicos (m³) medidos sobre los planos. No serán de abono las creces laterales, ni las consecuentes de la aplicación de la compensación de una merma de espesores en las capas subyacentes.

18.12 Especificaciones técnicas y distintivos de calidad

El cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias requeridas a los productos contemplados en este artículo, se podrá acreditar por medio del correspondiente certificado que, cuando dichas especificaciones estén establecidas exclusivamente por referencia a normas, podrá estar constituido por un certificado de conformidad a dichas normas.

Si los referidos productos disponen de una marca, sello o distintivo de calidad que asegure el cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo, se reconocerá como tal cuando dicho distintivo esté homologado por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento.

El certificado acreditativo del cumplimiento de las especificaciones técnicas obligatorias de este artículo podrá ser otorgado por las Administraciones Públicas competentes en materia de carreteras, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (según ámbito) o los Organismos españoles -públicos y privados- autorizados para realizar tareas de certificación o ensayos en el ámbito de los materiales, sistemas y procesos industriales, conforme al Real Decreto 2200/95, de 28 de diciembre.

18.13 Normativa

- PG-3 – Obras, carreteras y puentes
- NLT-326 Ensayo de lixiviación en materiales para carreteras (Método del tanque).
- NLT-330 Cálculo del índice de regularidad internacional (IRI) en pavimentos de carreteras
- NLT-357 Ensayo de carga con placa.
- UNE 103103 Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.
- UNE 103104 Determinación del límite plástico de un suelo.
- UNE 103501 Geotecnia. Ensayo de compactación. Proctor modificado.
- UNE 146130 Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras áreas pavimentadas.
- UNE-EN 196-2 Métodos de ensayo de cementos. Parte 2: Análisis químico de cemento.
- UNE-EN 933-1 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 1: Determinación de la granulometría de las partículas. Métodos del tamizado.
- UNE-EN 933-2 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.
- UNE-EN 933-3 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 3: Determinación de la forma de las partículas. Índice de lajas.
- UNE-EN 933-5 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 5: Determinación del porcentaje de caras de fractura de las partículas de árido grueso.
- UNE-EN 933-8 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 8: Evaluación de los finos. Ensayo del equivalente de arena.
- UNE-EN 933-9 Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno.
- UNE-EN 1097-2 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 2: Métodos para la determinación de la resistencia a la fragmentación.

- UNE-EN 1097-5 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 5: Determinación del contenido en agua por secado en estufa.
- Análisis químico.

REGLAMENTACIÓN APLICABLE

La legislación que rige la descripción y ejecución de las Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica es la que sigue:

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre, por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria ITC BT-52.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.

Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

ANEXO II: PLANOS, TABLAS, DISEÑO DE DETALLE



Ilustración 34- Vista aérea del emplazamiento

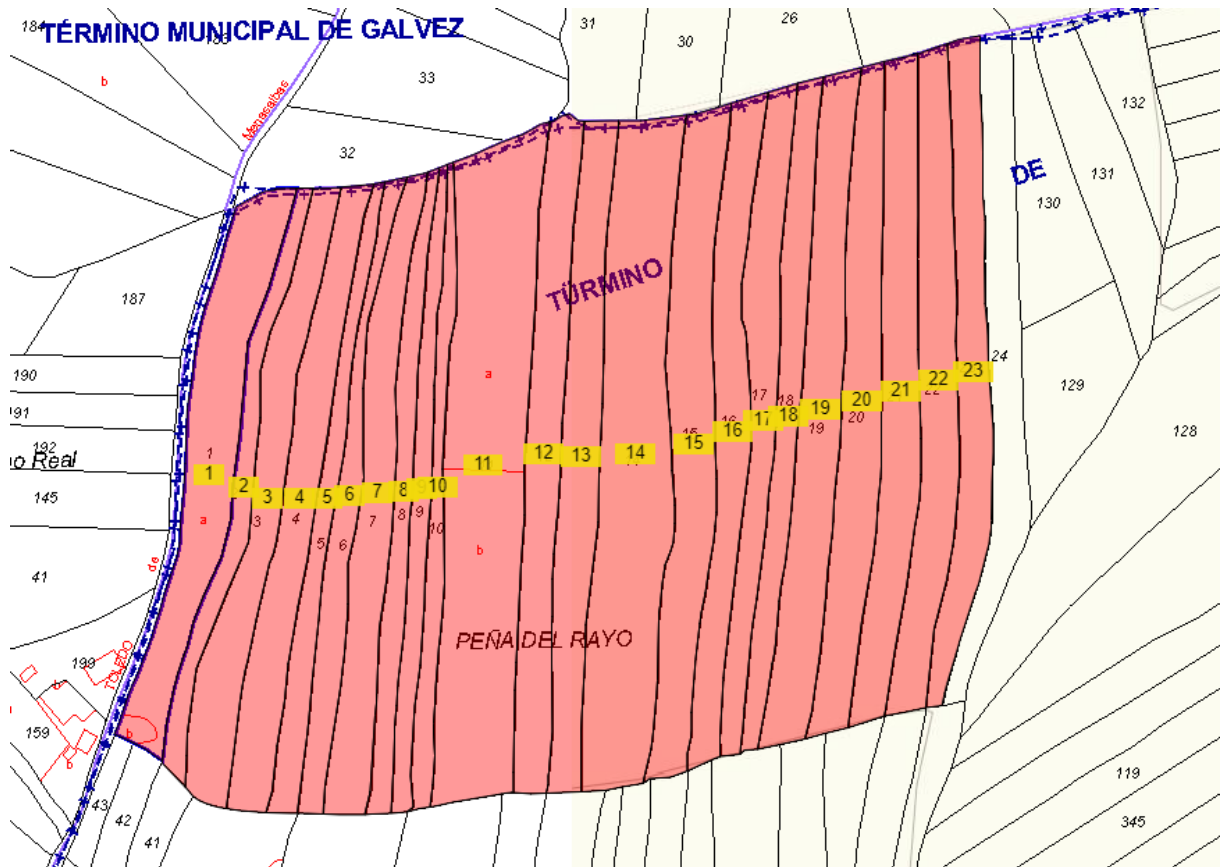


Ilustración 35- Distribución parcelas del terreno

ELECTRICAL DATA | STC*

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 35 mm (77.2 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm ² (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	720 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.40 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

Ilustración 36- Características del módulo CANADIAN CS6X-330P

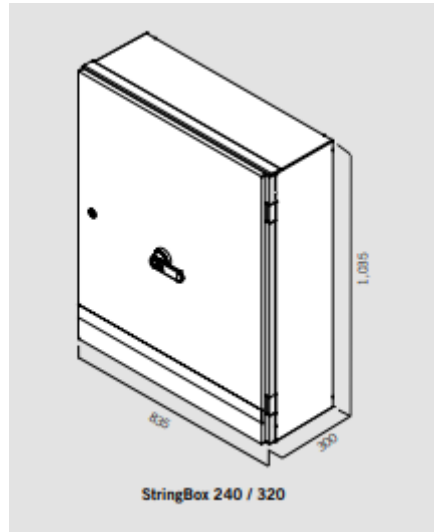


Ilustración 37- Dimensiones caja de conexión

	1,000 V			1,500 V		
	StringBox 160	StringBox 240	StringBox 320	StringBox 160	StringBox 240	StringBox 320
Input						
Maximum number of input strings	16	24	32	16	24	32
Rated current per string	10 A	10 A	10 A	10 A	10 A	10 A
Maximum current per string	12 A	12 A	12 A	12 A	12 A	12 A
Number of protection fuses	2 x 16	2 x 24	2 x 32	2 x 16	2 x 24	2 x 32
Type of fuses	gPV fuses, 10 x 38 mm, 30 kA			gPV fuses, 10 x 85 mm, 30 kA		
Maximum DC voltage	1,000 V			1,500 V		
Inlet connections	M32 cable glands (n.4 cables entry diameter: 3.5 to 7 mm for each cable gland) with Direct connection on fuse holders			M32 cable glands (n.4 cables entry diameter: 3.5 to 7 mm for each cable gland) with Direct connection on fuse holders		
Output						
Rated total current	160 A	240 A	320 A	160 A	240 A	320 A
Maximum total current ⁽¹⁾	192 A	288 A	384 A	192 A	288 A	360 A
Outlet connections	Up to 2 pairs of M50 cable glands (cable diameter: 27 to 35 mm) with direct connection on copper plates			Up to 2 pairs of M50 cable glands (cable diameter: 27 to 35 mm) with direct connection on copper plates		
DC switch disconnect rating	250 A	400 A	500 A	315 A	400 A	500 A
Grounding						
Grounding connection	M16 cable gland (cable diameter: 4.5 to 10 mm)			M16 cable gland (cable diameter: 4.5 to 10 mm)		
General Information						
Enclosure type	Outdoor use, insulating cabinet (polyester reinforced with fiberglass)			Outdoor use, insulating cabinet (polyester reinforced with fiberglass)		
Protection rating	IP65			IP65		
Impact strength	IK10			IK10		
Operating temperature range	-20 °C to +55 °C			-20 °C to +55 °C		
Relative humidity (non-condensing)	0 to 95%			0 to 95%		
Maximum altitude ⁽²⁾	3,000 m a.s.l.			3,000 m a.s.l.		
DC switch handle	External (front) access, lockable in open position			External (front) access, lockable in open position		
Consumption	0 W			0 W		
Weight	27 kg	43 kg	44 kg	32 kg	46 kg	48 kg
Marking	CE					
EMC and security standards	EN 61000-6-4, EN 61000-6-2, EN 50178					
LV Switchgear standards	IEC 61439-1, IEC 61439-2					
Electric shock protection	Class II equipment					

Notes: ⁽¹⁾ Over 50 °C ambient temperature, the current will be reduced at the rate of 3.5% every °C up to 55°C. ⁽²⁾ Please contact IngeTeam for altitudes higher than 3,000 m.

Ilustración 38- Características de la caja de conexión

TECHNICAL CHARACTERISTICS

HEC V1500 - 645V

	FRAME 1	FRAME 2	FRAME 3	FRAME 4	FRAME 5
NUMBER OF MODULES	3	4	5	6	7
REFERENCE	FS1200CH15	FS1600CH15	FS2000CH15	FS2400CH15	FS2800CH15
OUTPUT	AC Output Power (kVA/kW) @50°C ¹⁾ 1200 1600 2000 2400 2800 AC Output Power (kVA/kW) @25°C ¹⁾ 1430 1910 2390 2860 3345 Max. AC Output Current (A) @25°C 1285 1710 2140 2570 3000 Operating Grid Voltage (VAC) 645V ±10% Operating Grid Frequency (Hz) 50Hz/60Hz Current Harmonic Distortion (THDi) < 3% per IEEE519 Power Factor (cosine phi) ²⁾ 0.0 leading ... 0.0 lagging / Reactive Power injection at night Power Curtailment 0...100% / 0.1% Steps				
INPUT	MPPT @full power (VDC) ³⁾ 913V - 1310V Maximum DC voltage 1500V Max. DC continuous current (A) 1600 2140 2675 3210 3745 Max. DC short circuit current (A) 2320 3100 3880 4650 5450				
EFFICIENCY & AUXILIARY SUPPLY	Efficiency (Max) (η) 98.7% Euroeta (η) 98.6% Max. Standby Consumption (Pnight) < approx. 50W/per module Control Power Supply 400V / 230VAC-6kVA power supply available for external equipment (optional)				
CABINET	Dimensions [WxDxH] [mm] 3038x945x2198 3751x945x2198 4464x945x2198 5177x945x2198 5890x945x2198 Weight (kg) 2635 3290 3945 4600 5255 Air Flow Bottom intake. Exhaust top rear vent. Type of ventilation Forced air cooling				
ENVIRONMENT	Degree of protection IP54 Permissible Ambient Temperature -35°C ⁴⁾ to 60°C / Active Power derating >50°C Relative Humidity 0% to 100% non condensing Max. Altitude (above sea level) 2000m / >2000m power derating (Max. 4000m) Noise level ⁵⁾ < 79 dBA				
CONTROL INTERFACE	Interface Graphic Display (inside cabinet) / Optional Freesun App Communication protocol Modbus TCP/IP Power Plant Controller Optional Keyed ON/OFF switch Standard Digital I/O User configurable Analog I/O User configurable				
PROTECTIONS	Ground Fault Protection Floating PV array: Isolation Monitoring per MPP Grounded PV Array (Positive pole and negative pole): GFDI protection Optional PV Array transfer kit: GFDI and Isolation monitoring device Humidity control Active Heating General AC Protection & Disconn. Circuit Breaker General DC Protection & Disconn. External Disconnecting Unit Cabinet Module AC Protection & Disconn. AC contactor & fuses Module DC Protection DC fuses Overvoltage Protection AC and DC protection (type 2)				
CERTIFICATIONS	Safety IEC62109-1, IEC62109-2				

Ilustración 39- Características del inversor

		MV SKID
MEDIUM VOLTAGE	Input Voltage ^[1]	400Vac - 460Vac / 565Vac - 690Vac
	Output Voltage	11kV - 36kV
	MV Transformer ^[1]	1100kVA - 3500kVA
	Frequency	50Hz/60Hz
	MV Transformer Efficiency	High Efficiency
ENVIRONMENTAL RATING	Installation	Outdoor
	Permissible Ambient Temperature	-30°C ...+50°C; >+50°C derating
CABINET FEATURES	Enclosure	Galvanized Steel
	IP Rating	IP54
	MV Switchgear ^[1]	2L+P or 2L+V Configuration
USER CABINET (OPTIONAL)	Auxiliary Station Transformer	Up to 40kVA
	Safety	Differential, Overvoltage and Short Circuit
	User Spacing	User Customizable for own circuitry
	Humidity Control	Space Heaters
SKID	Safety Perimeter	Transformer Access Protection Fence
	Installation	Inverter Coupling System
	Oil Tank	Integrated with Key and Filter
CONNECTIONS	Primary Connection	Prewired
	Secondary Connection	Plug & Play

NOTE [1] For more information contact Power Electronics.

Ilustración 40- Características MV SKID



Single-Axis Tracker

CARACTERÍSTICAS

Sistema de seguimiento	Horizontal a un eje con filas individuales
Rango de rotación	120°+
Alimentación	Autoalimentado PV Series Opcional: AC/DC
Algoritmo de seguimiento	Astronómico con TeamTrack Backtracking
Comunicación	
Inalámbrica	Radio + cable RS-485
Opcional: cable	RS-485
Resistencia al viento	Según normativa local
Adaptación al terreno	
Filas independientes	Sí
Pendiente norte-sur	17%
Pendiente este-oeste	Ilimitada
Ratio de ocupación	Configurable. Rango típico: 28-50%
Cimentación	Hinca Tornillo Zapata
Rango de temperatura	
Estándar	de -20°C a +55°C de -4°F a +131°F
Extendida	de -40°C a +55°C de -40°F a +131°F
Disponibilidad	>99%
Módulos	Estándar: 72 células Opcional: 60 células; cristalino Capa fina (Solar Frontier, First Solar y otros); bifacial

CONFIGURACIONES

1000V	Longitud	Altura	Anchura	1500V	Longitud	Altura	Anchura
2x38	38.1 m (124' 12")	3.95 m (12' 12")	3.92 m (12' 12")	2x42	42.1 m (138' 12")	3.95 m (12' 12")	3.92 m (12' 10")
	2x40			40.1 m (131' 7")	2x43.5		
			2x45	45.1 m (147' 12")			

Ilustración 41- Características seguidor solar

CABLES PARA INSTALACIONES INTERIORES O RECEPTORAS

BAJA TENSIÓN

AFUMEX CLASS 1000 V (AS) RZ1-K (AS)

Tensión asignada: 0,6/1 kV
 Norma diseño: UNE 21123-4
 Designación genérica: RZ1-K (AS)



DATOS TÉCNICOS

NÚMERO DE CONDUCTORES x SECCIÓN mm ²	ESPESOR DE AISLAMIENTO mm (1)	DIÁMETRO EXTERIOR mm (1)	PESO kg/km (1)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR a 20 °C. Ω /km	INTENSIDAD ADMISIBLE AL AIRE (2) A	INTENSIDAD ADMISIBLE ENTERRADO (3) A	CAÍDA DE TENSIÓN V/A km (2)	
							cos φ = 1	cos φ = 0,8
1 x 1,5	0,7	7	67	13,3	21	21	26,5	21,36
1 x 2,5	0,7	7,5	79	7,98	30	27	15,92	12,88
1 x 4	0,7	8	97	4,95	40	35	9,96	8,1
1 x 6	0,7	8,5	120	3,3	52	44	6,74	5,51
1 x 10	0,7	9,6	167	1,91	72	58	4	3,31
1 x 16	0,7	10,6	226	1,21	97	75	2,51	2,12
1 x 25	0,9	12,3	321	0,78	122	96	1,59	1,37
1 x 35	0,9	13,8	421	0,55	153	117	1,15	1,01
1 x 50	1	15,4	579	0,38	188	138	0,85	0,77
1 x 70	1,1	17,3	780	0,27	243	170	0,59	0,56
1 x 95	1,1	19,2	995	0,20	298	202	0,42	0,43
1 x 120	1,2	21,3	1240	0,16	350	230	0,34	0,36
1 x 150	1,4	23,4	1529	0,12	401	260	0,27	0,31
1 x 185	1,6	25,6	1826	0,10	460	291	0,22	0,26
1 x 240	1,7	28,6	2383	0,08	545	336	0,17	0,22
1 x 300	1,8	31,3	2942	0,06	630	380	0,14	0,19
1 x 400	2	36	3921	0,05		446	0,11	0,17

Ilustración 42- Características cable Afumex Class RZ1-K

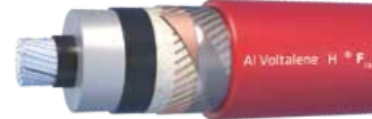
AL VOLTALENE H

AL RHZ1-OL (NORMALIZADO POR ENDESA (TRADICIONAL))

Tensión asignada: 12/20 kV, 18/30 kV

 Norma diseño: UNE HD 620-10E

 Designación genérica: AL RHZ1-OL



DATOS TÉCNICOS

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

1 x SECCIÓN CONDUCTOR (Al) / SECCIÓN PANTALLA (Cu) (mm ²)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR A T 20 °C (Ω/km)		RESISTENCIA DEL CONDUCTOR A T MAX (90 °C) (Ω/km)		REACTANCIA INDUCTIVA (Ω/km)		CAPACIDAD (μF/km)	
	12/20 kV y 18/30 kV		12/20 kV y 18/30 kV		12/20 kV	18/30 kV	12/20 kV	18/30 kV
1 x 95/16	0,320		0,410		0,123	0,132	0,217	0,167
1 x 150/16	0,206		0,264		0,114	0,123	0,254	0,192
1 x 240/16	0,125		0,161		0,106	0,114	0,306	0,229
1 x 400/16	0,078		0,100		0,099	0,106	0,376	0,277

1 x SECCIÓN CONDUCTOR (Al) / SECCIÓN PANTALLA (Cu) (mm ²)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE BAJO TUBO Y ENTERRADO* (A)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DIRECTAMENTE ENTERRADO* (A)	INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE AL AIRE** (A)	INTENSIDAD MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO EN EL CONDUCTOR DURANTE 1s (A)	INTENSIDAD MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO EN LA PANTALLA DURANTE 1s*** (A)
	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV y 18/30 kV	12/20 kV y 18/30 kV (pant, 16 mm ²)
1 x 95/16	190	205	255	8930	3130
1 x 150/16	245	260	335	14100	3130
1 x 240/16	320	345	455	22560	3130
1 x 400/16	415	445	610	37600	3130

(*) Condiciones de instalación: una terna de cables enterrado a 1 m de profundidad, temperatura de terreno 25 °C y resistividad térmica 1,5 K·m/W.

(**) Condiciones de instalación: una terna de cables al aire (a la sombra) a 40 °C.

(***) Calculado de acuerdo con la norma IEC 60949.

Ilustración 43- Características cable media tensión

Provincia	Estación	Indicativo
Toledo	Toledo (Buenavista)	3260B

UBICACIÓN: ENTORNO CIUDAD

Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO

a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T seca	Hum. relativa	T terreno	Rad
516	39°53'05"	04°02'58" W	87.600 (1998-2007)	(2) 18.980 (1998-2007)	14.600 (1998-2007)	58.384 (1998-2007)

CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)

TSMIN (°C)	TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMDC (°C)	HUMcoin (%)	OMA (°C)
-9,6	-2,6	-1,2	13,9	82	40,5

CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)

TSMAX (°C)	TS_0,4 (°C)	THC_0,4 (°C)	TS_1 (°C)	THC_1 (°C)	TS_2 (°C)	THC_2 (°C)	OMDR (°C)
42,0	37,9	21,0	36,6	20,9	35,1	20,6	17,6

CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA HÚMEDA EXTERIOR MÁXIMA)

TH_0,4 (°C)	TSC_0,4 (°C)	TH_1 (°C)	TSC_1 (°C)	TH_2 (°C)	TSC_2 (°C)
22,2	35,3	21,4	35,1	21,0	35,0

VALORES MEDIOS MENSUALES

Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20	GDR_20	RADH (kWh/m² día)	TTERR (°C)
Enero	6,2	8,0	275	429	0	2,2	6,9
Febrero	8,2	10,3	199	335	0	3,2	8,8
Marzo	11,6	13,7	131	265	4	4,4	12,9
Abril	13,5	15,7	89	205	12	5,7	16,3
Mayo	18,0	20,1	36	115	52	6,4	20,9
Junio	24,6	27,0	3	23	160	7,6	28,1
Julio	26,9	29,3	1	9	223	7,7	31,8
Agosto	26,4	28,7	0	10	209	6,7	31,2
Septiembre	22,1	24,7	5	39	102	5,2	26,5
Octubre	16,2	18,6	40	139	20	3,4	18,7
Noviembre	9,8	11,9	162	306	0	2,3	11,6
Diciembre	6,4	8,3	266	420	0	1,8	7,5

Ilustración 44- Valores estación meteorológica Toledo

Incident global irradiation for the chosen location

Location: 39°39'46" North, 4°13'23" West, Elevation: 765 m a.s.l.,

Optimal inclination angle is: 35 degrees

Annual irradiation deficit due to shadowing (horizontal): 0.0 %

Month	Hh	Hopt	lopt	TD
Jan	2240	3850	63	6.9
Feb	3250	4910	56	7.3
Mar	4670	5870	43	10.7
Apr	5540	5970	27	14.3
May	6590	6360	15	18.5
Jun	7550	6910	6	23.2
Jul	7960	7450	10	27.6
Aug	6920	7210	22	27.4
Sep	5210	6290	38	22.6
Oct	3770	5320	51	17.4
Nov	2540	4210	61	11.1
Dec	2040	3690	66	8.0
Year	4870	5670	35	16.2

Hh: Irradiation on horizontal plane (Wh/m²/day)

Hopt: Irradiation on optimally inclined plane (Wh/m²/day)

lopt: Optimal inclination (deg.)

TD: Average daytime temperature (°C)

Ilustración 45- Datos sobre la radiación mensual con ángulo óptimo

UNE 211435

TABLA A.2.

CABLES AÉREOS DE DISTRIBUCIÓN TIPO RZ DE 0,6/1kV

INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN A AISLAMIENTO DE XLPE. CONDUCTOR DE CU O AL CABLES EN TRIANGULO EN CONTACTO				
SECCIÓN mm ²	TRES CONDUCTORES CARGADOS		DOS CONDUCTORES CARGADOS	
	PROTEGIDOS DEL SOL	EXPUESTOS AL SOL	PROTEGIDOS DEL SOL	EXPUESTOS AL SOL
ALUMINIO				
16	64	56	78	72
25	90	76	105	95
50	135	115	160	145
95	215	185	-	-
150	300	250	-	-
COBRE				
2,5	-	-	32	31
4	35	31	42	40
6	45	39	54	52
10	62	54	76	70
16	84	72	100	94

Ilustración 46- Intensidades máximas admisibles según norma UNE

NÚMERO DE CONDUCTOS COLOCADOS VERTICALMENTE	NÚMERO DE CONDUCTOS COLOCADOS HORIZONTALMENTE					
	1	2	3	4	5	6
Conductos al aire						
1	-	-	-	-	-	-
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,74	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68
Conductos enterrados o embebidos en hormigón						
1	-	-	-	-	-	-
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,35
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32

Ilustración 47- Factor de corrección agrupación de ternas

TEMPERATURA MÁXIMA DE CONDUCTOR (°C)	TEMPERATURA DEL TERRENO PARA CABLES SOTERRADOS (°C)								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
90*	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
105	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83

* Los cables para redes subterráneas de distribución

soportan un máximo de 90 °C en el conductor en régimen permanente.

Ilustración 48- Factor de corrección de la temperatura

TABLA A.7 (UNE 211435)

Factores de corrección para distintas profundidades de soterramiento (cables soterrados)

CABLES DE 0,6/1 KV		
PROFUNDIDAD m	SOTERRADOS DIRECTAMENTE	SOTERRADOS EN TUBULAR
0,50	1,04	1,03
0,60	1,02	1,01
0,70	1,00	1,00
0,80	0,99	0,99
1,00	0,97	0,97
1,25	0,95	0,96
1,50	0,93	0,95
1,75	0,92	0,94
2,00	0,91	0,93
2,50	0,89	0,91
3,00	0,88	0,90

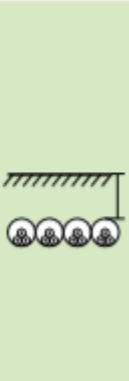


Ilustración 49- Factor de corrección de la profundidad



3					
2					
1					
0	25/03/2019		Alejandro Sopena		
REV.	FECHA	MOTIVO / DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	REVISADO	APROBADO
RETAMALA 10MW SOLAR PROJECT			Parcelas 1-23, Polígono 1 Peña del Rey, Cuerva (TO)		
TÍTULO: EMPLAZAMIENTO ACOTADO					
ESCALA: 1:1500	FORMATO: A2	SUBC DWG Nº: -	DWG Nº: A-01.00	HOJA: 1	REV: -

Ilustración 50- Emplazamiento acotado

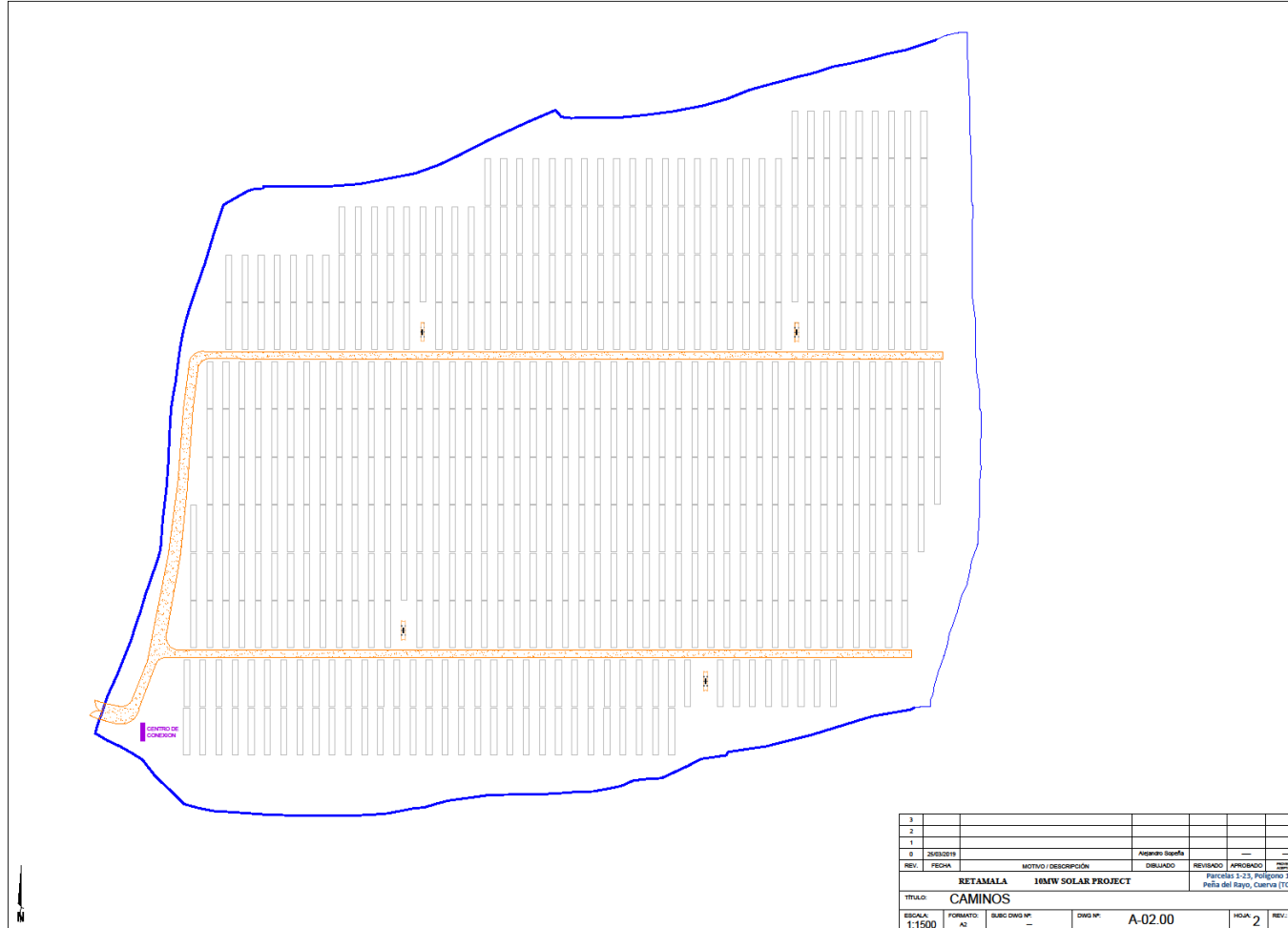


Ilustración 51- Trazado de caminos

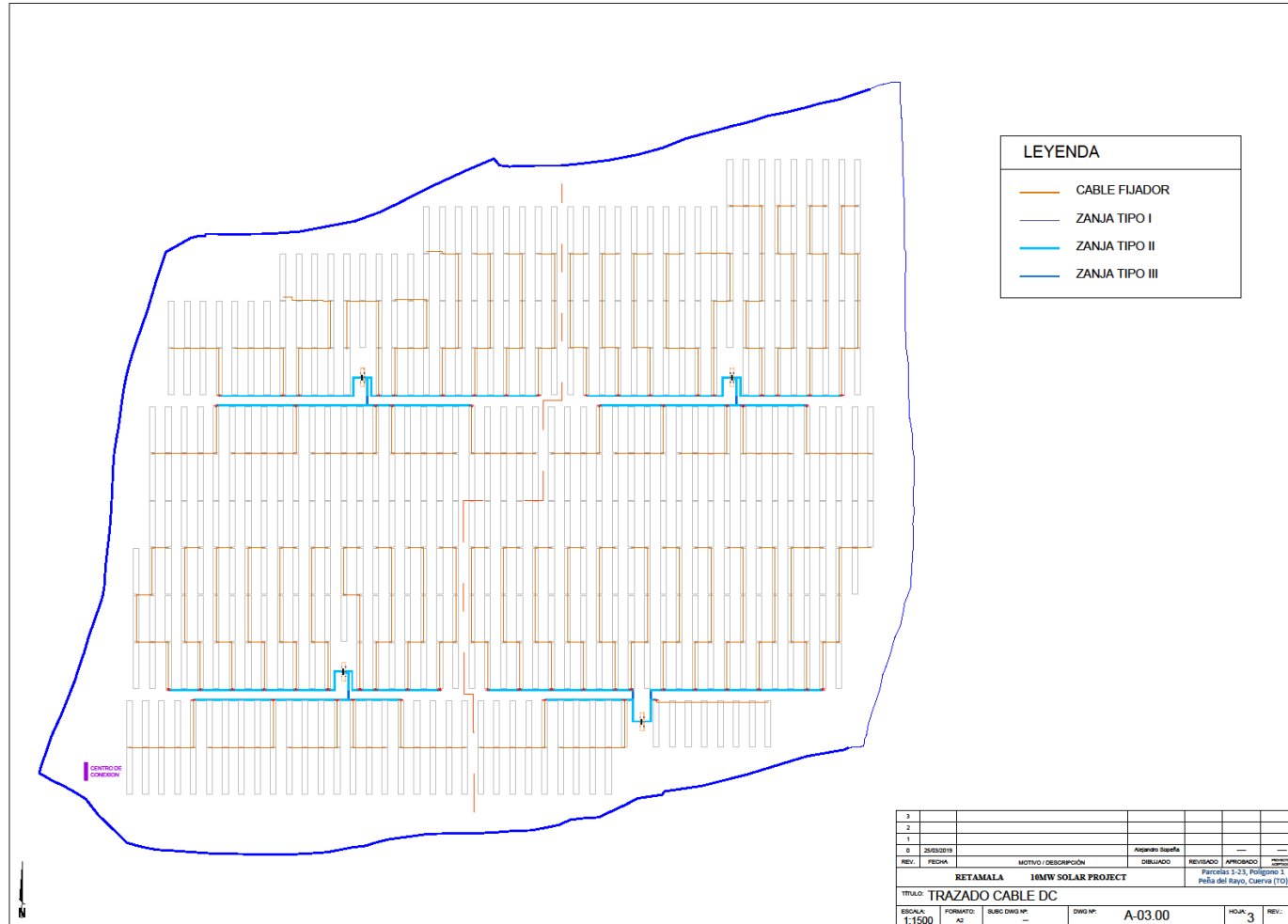
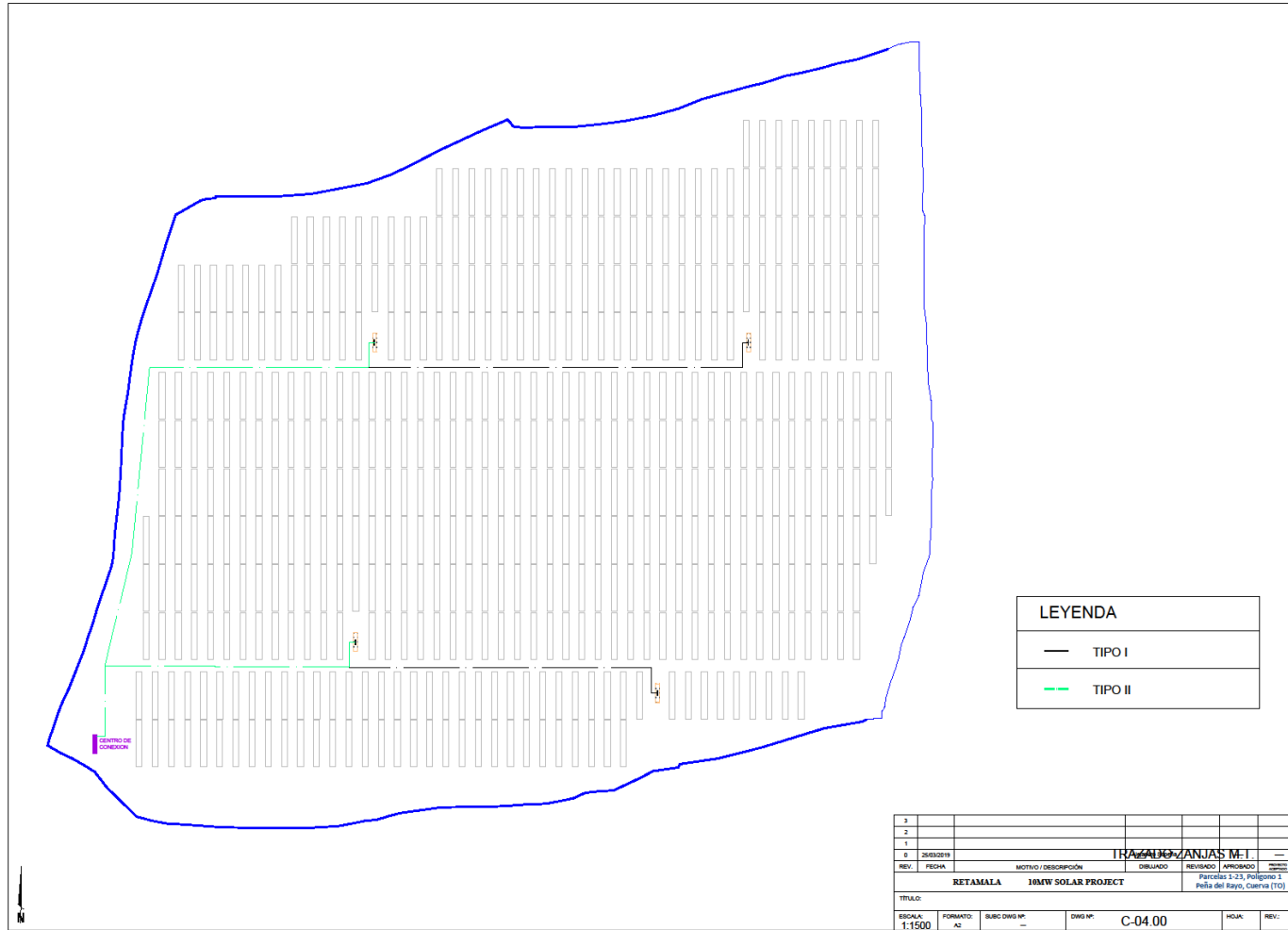


Ilustración 52- Trazado zanjas baja tensión



LEYENDA	
—	TIPO I
- - -	TIPO II

3								
2								
1								
0	26/03/2018							IBARRONZANJAS M.I.
REV.	FECHA	MOTIVO / DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	REVISADO	APROBADO	Parcelas 1-23, Polígono 1 Peña del Rey, Cuerva (TC)		
RETAMALA 10MW SOLAR PROJECT								
TÍTULO:								
ESCALA:	FORMATO:	BURD DWG Nº:	DWG Nº:	HOJA:	REV:			
1:1500	A2	-	C-04.00					

Ilustración 53- Trazado zanjas media tensión

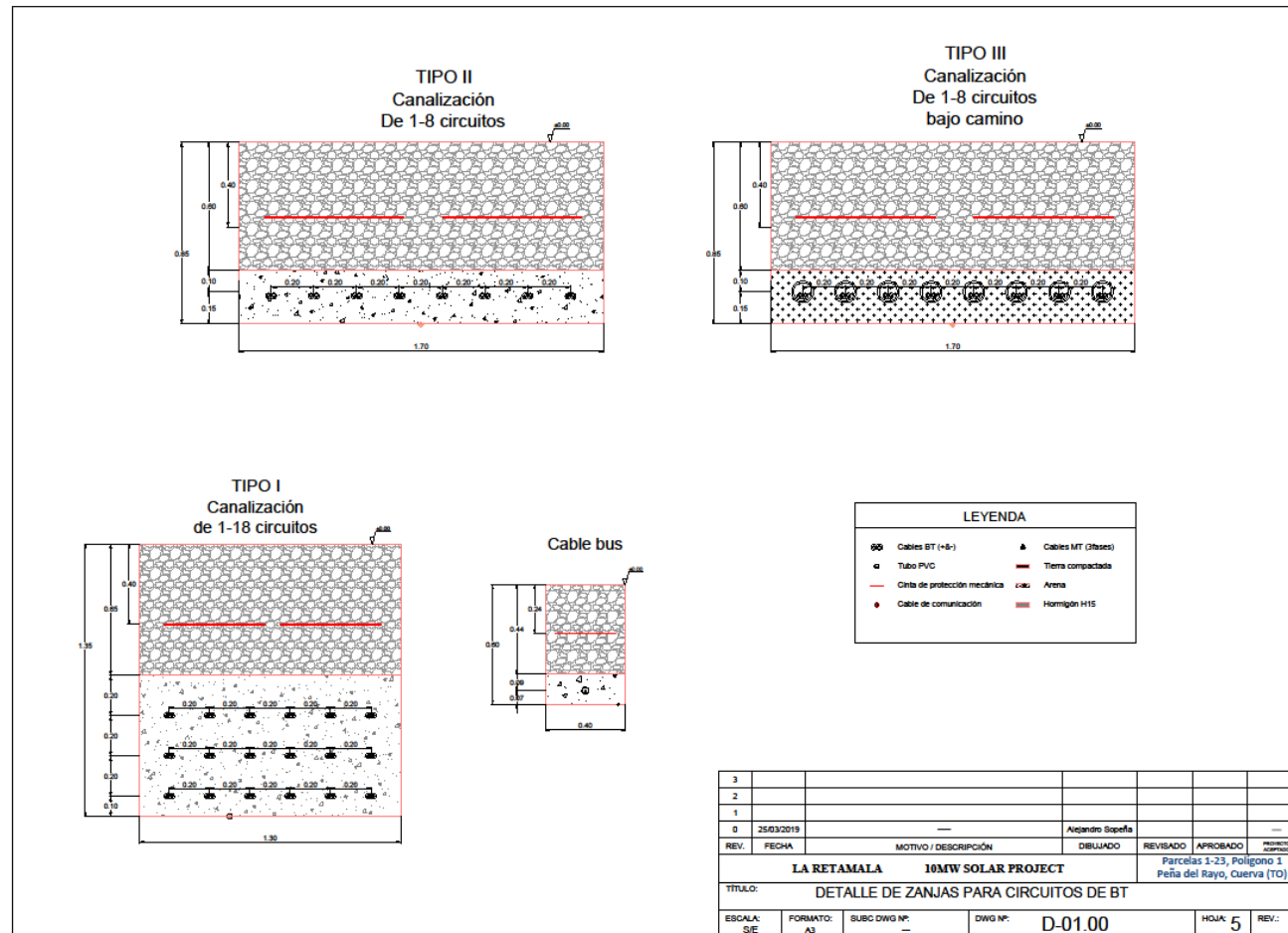


Ilustración 54- Detalle zanjas baja tensión

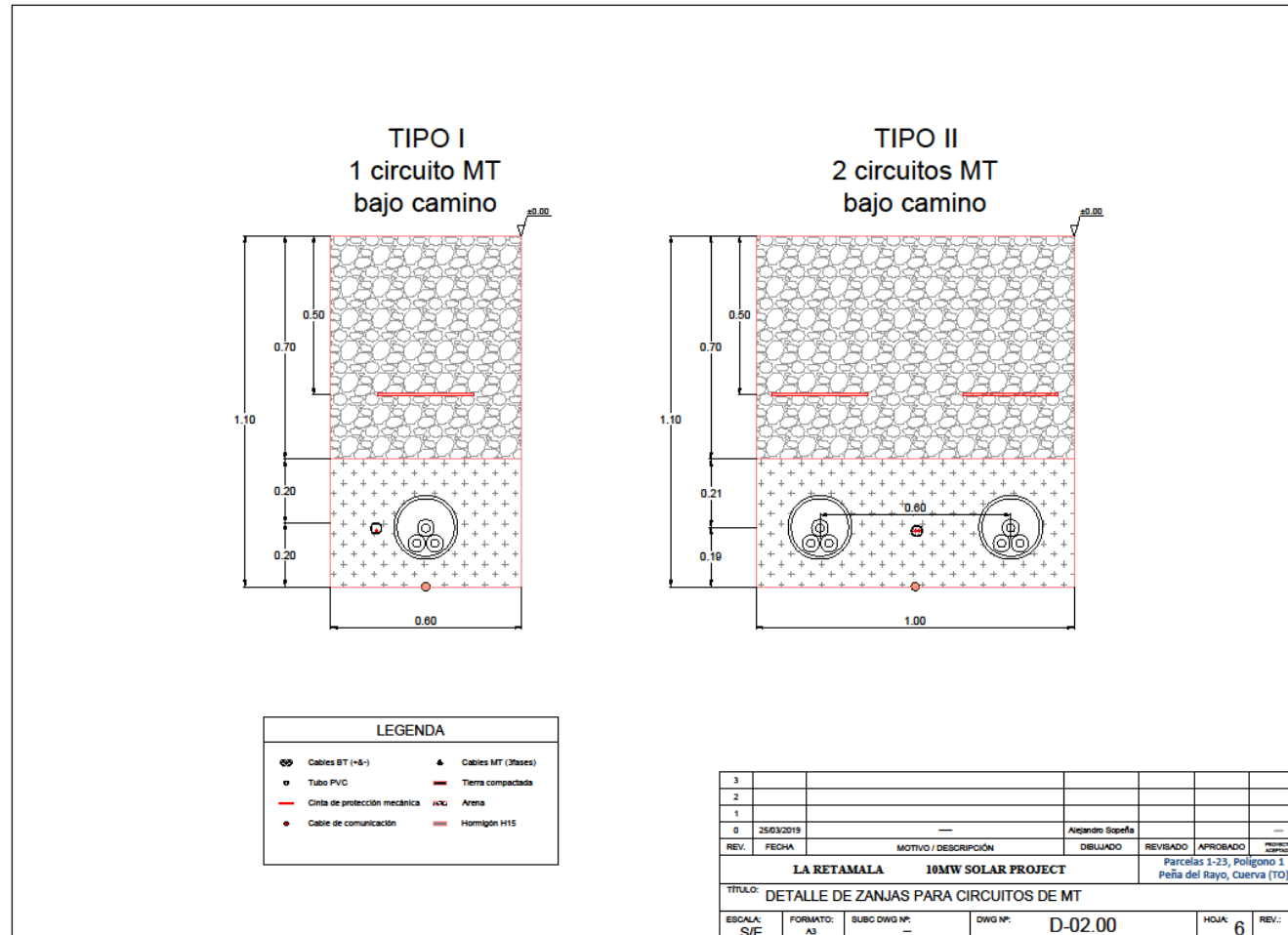


Ilustración 55- Detalle zanjas media tensión

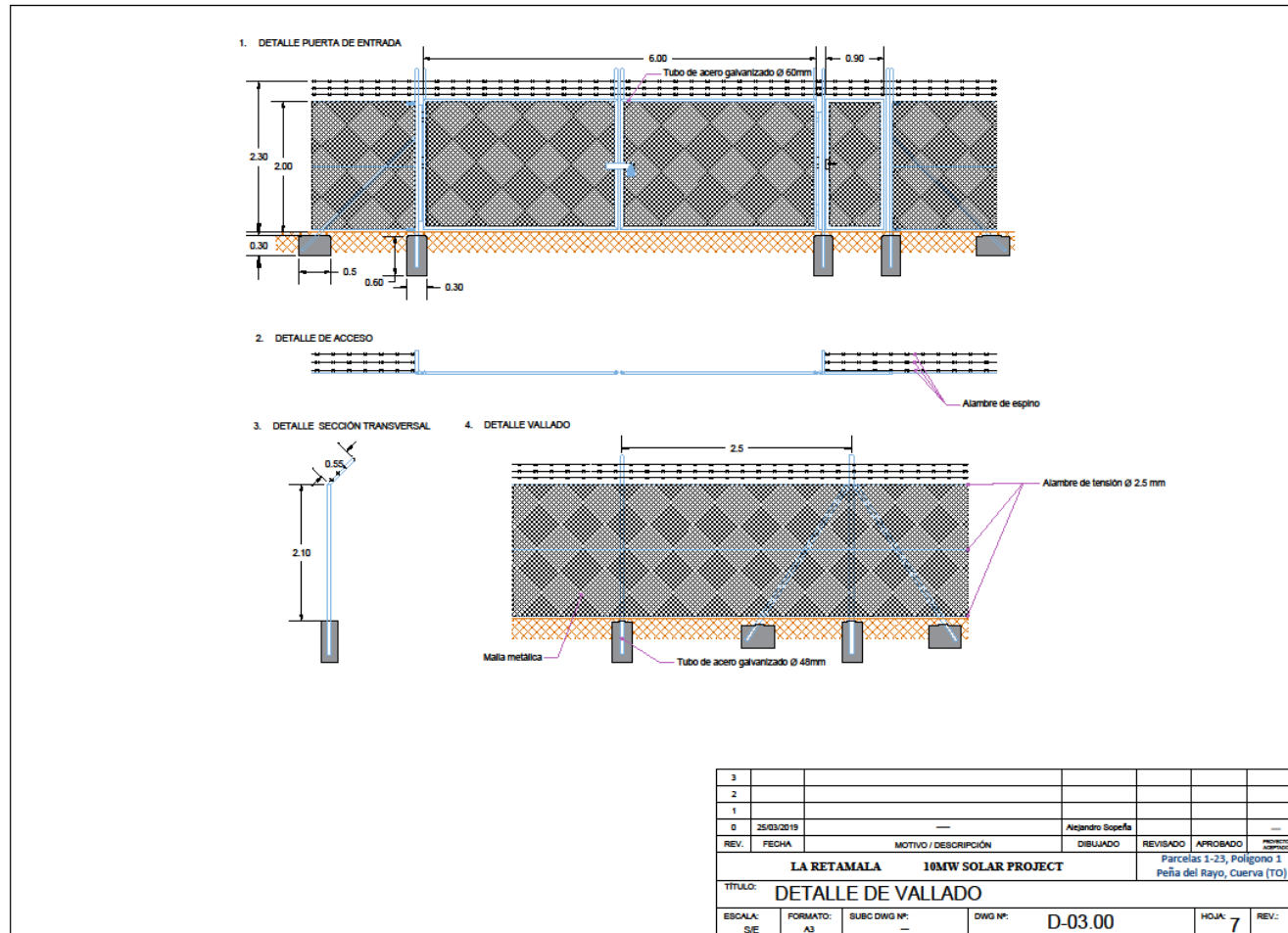


Ilustración 56- Detalle vallado

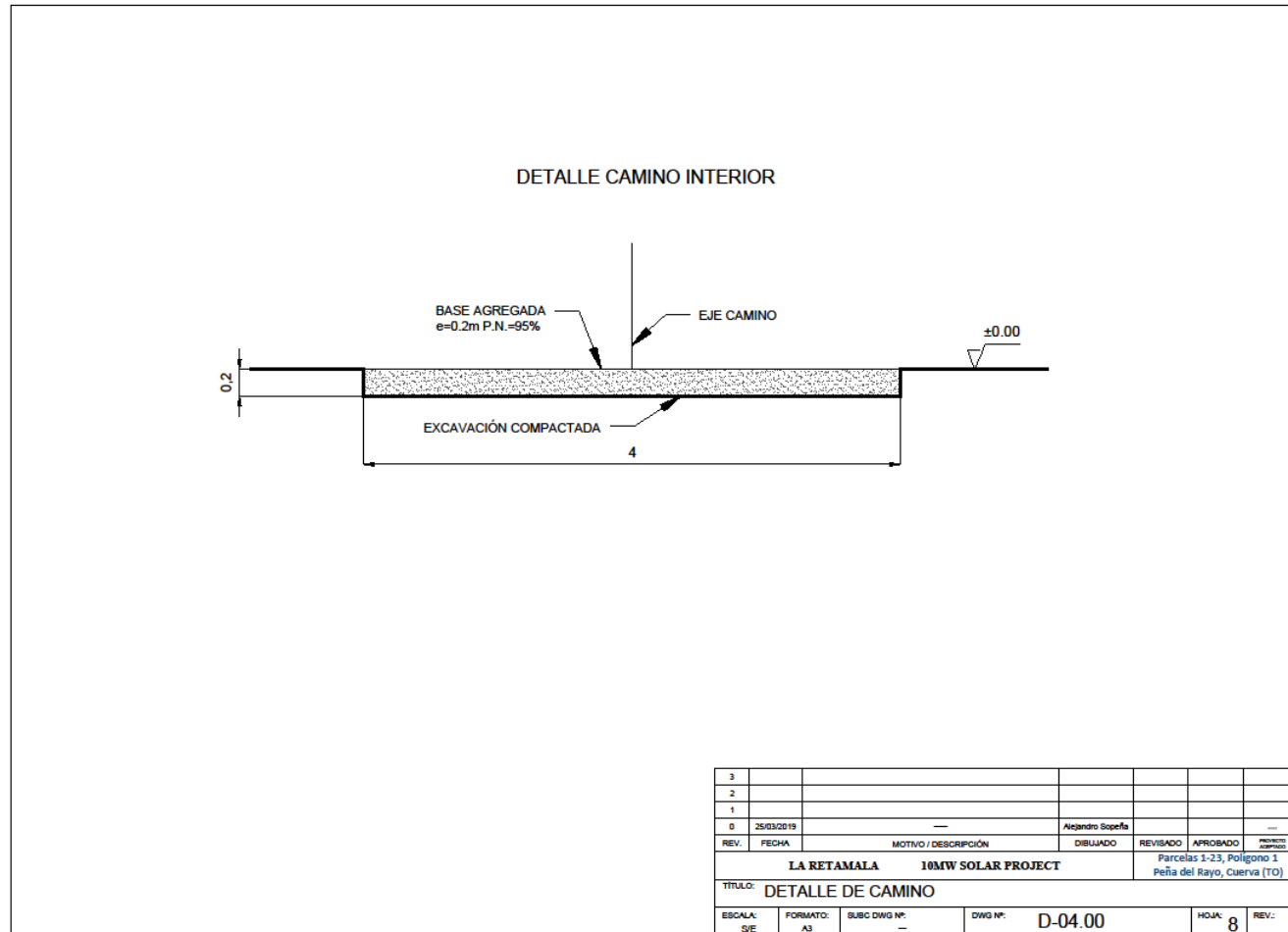


Ilustración 57- Detalle de camino

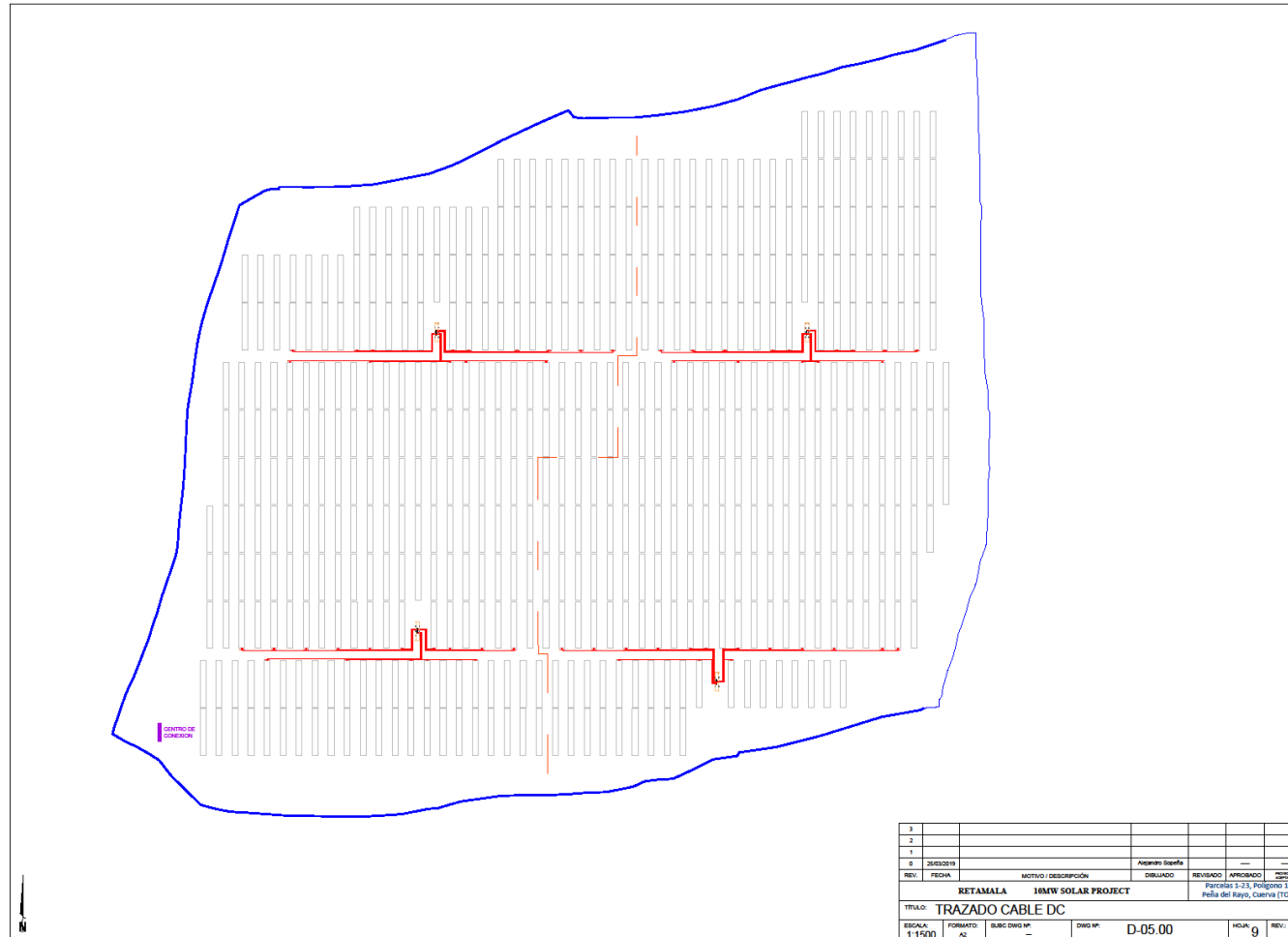


Ilustración 58- Trazado cable baja tensión

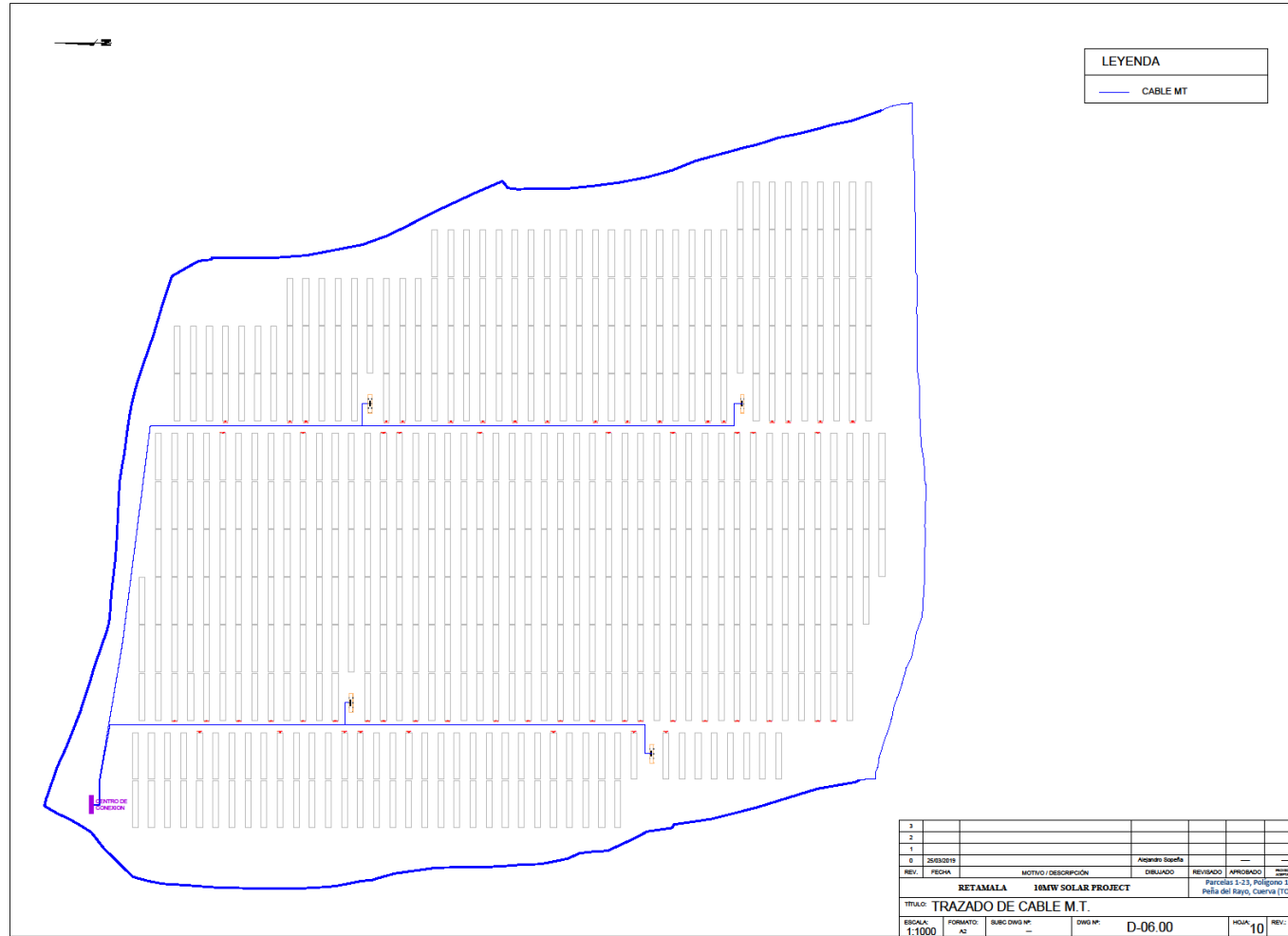


Ilustración 59- Trazado del cable de media tensión

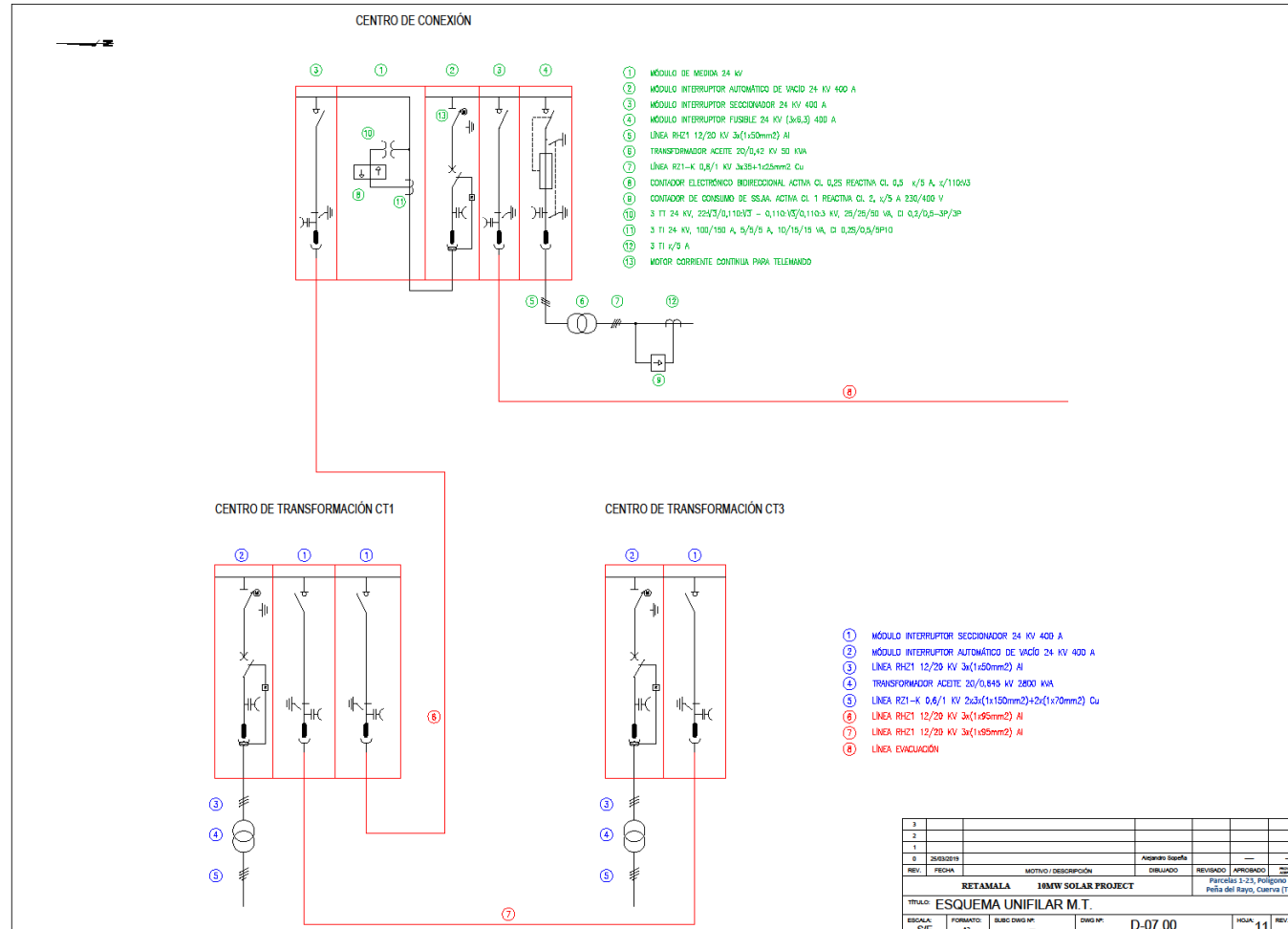


Ilustración 60- Esquema unifilar media tensión

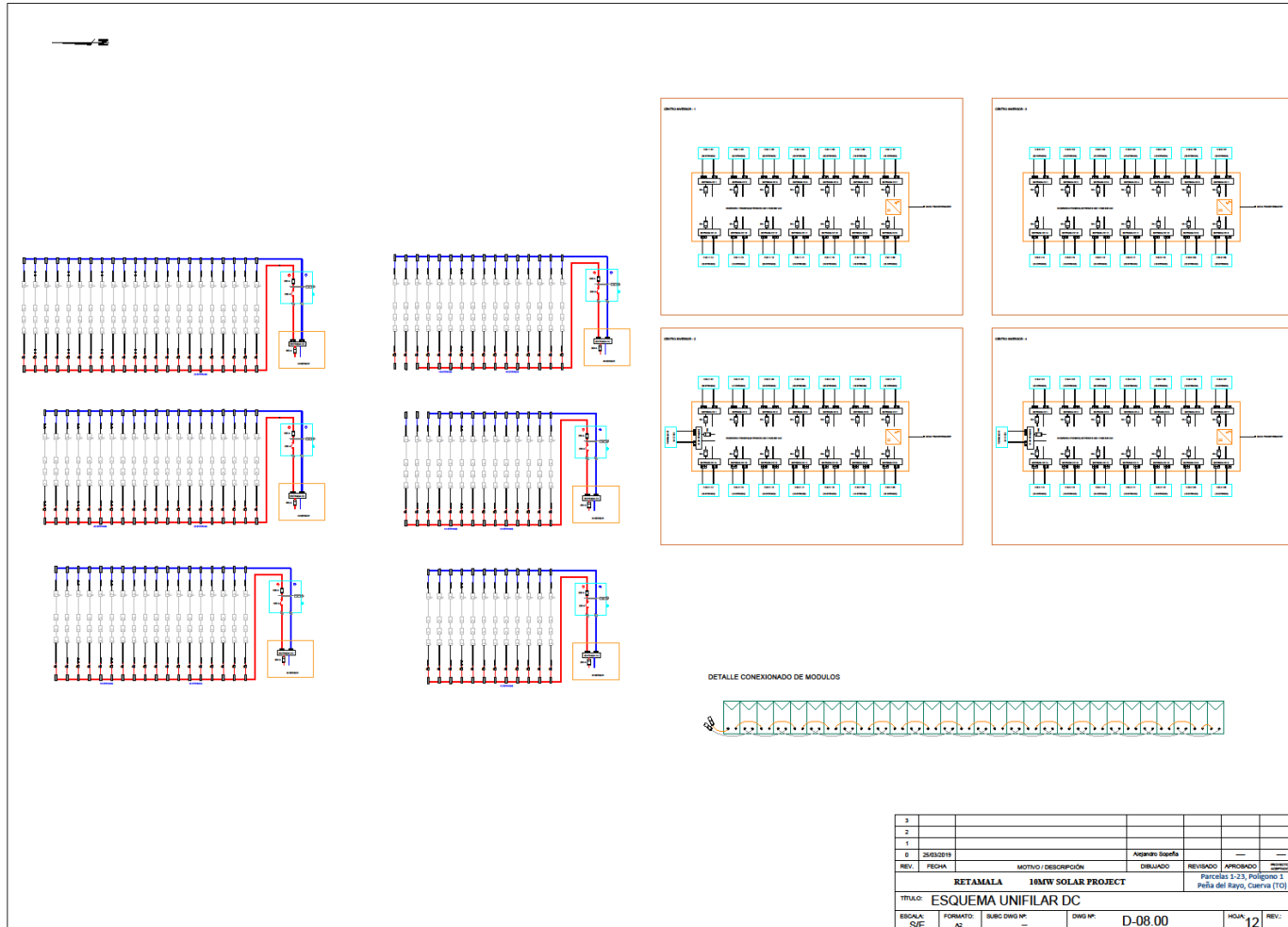


Ilustración 61- Esquema unifilar baja tensión

ANEXO III: INFORME PVsyst

PVSYST V6.79		28/04/19		Página 1/5	
Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación					
Proyecto : Retamala 10MW (Toledo)					
Sitio geográfico		Cuerva		País España	
Ubicación		Latitud	39.66° N	Longitud	-4.21° W
Tiempo definido como		Hora Legal	Huso horario UT+1	Altitud	776 m
		Albedo	0.20		
Datos meteorológicos:		Cuerva Meteonorm 7.2 (1995-2010), Sat=100% - Sintético			
Variante de simulación : Cuerva - 10 MW					
		Fecha de simulación 28/04/19 20h12			
Parámetros de la simulación		Tipo de sistema Helióstatos ilimitados con retroceso			
Seguidor eje horizontal		Modelo simplificado, ilimitado		40hilera de heliostatos Acimut eje 0°	
Límites de rotación		Fi mín. -55°		Fi máx. 55°	
		Tracking algorithm Irradiance optimization			
Estrategia "Retroceso"		Núm. de heliostatos 40		Heliostatos ilimitados	
Banda inactiva		Separación heliostatos 10.0 m		Ancho receptor 4.00 m	
Ángulo límite del retroceso		Izquierda 0.02 m		Derecha 0.02 m	
		Límites de fiF 40.0% Ocupación del suelo (GCR) 40.0 %			
Modelos empleados		Transposición Perez		Difuso Perez, Meteonorm	
Horizonte		Sin horizonte			
Sombreados cercanos		Sin sombreado			
Necesidades del usuario :		Carga ilimitada (red)			
Características del conjunto FV					
Módulo FV		Si-poly Modelo CS6U - 330P 1500V			
Parámetros definidos por el usuario		Fabricante Canadian Solar Inc.			
Número de módulos FV		En serie 30 módulos		En paralelo 1008 cadenas	
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos 30240		Pnom unitaria 330 Wp	
Potencia global del conjunto		Nominal (STC) 9979 kWp		En cond. de funciona. 9038 kWp (50°C)	
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp 1005 V		I mpp 8996 A	
Superficie total		Superficie módulos 58796 m²		Superficie célula 52995 m²	
Inversor		Modelo FS2800CH15_645V_20160212			
Parámetros definidos por el usuario		Fabricante Power Electronics			
Características		Voltaje de funcionam. 913-1310 V		Pnom unitaria 3345 kWac	
Paquete de inversores		Núm. de inversores 4 unidades		Potencia total 13380 kWac	
				Relación Pnom 0.75	
Factores de pérdida del conjunto FV					
Suciedad del conjunto				Fracción de pérdidas 2.0 %	
Factor de pérdidas térmicas		Uc (const) 29.0 W/m²K		Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s	
Pérdida óhmica en el Cableado		Res. global conjunto 1.9 mOhm		Fracción de pérdidas 1.5 % en STC	
LID - "Light Induced Degradation"				Fracción de pérdidas 2.0 %	
Pérdida Calidad Módulo				Fracción de pérdidas 0.4 %	
Pérdidas de "desajuste" Módulos				Fracción de pérdidas 3.0 % en MPP	

PVSYST V6.79	28/04/19	Página 2/5
--------------	----------	------------

Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación

Efecto de incidencia, perfil definido por el usuario (IAM): Perfil personalizado

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.998	0.998	0.995	0.992	0.986	0.970	0.917	0.763	0.000

Factores de pérdida del sistema

Pérdida CA entre transfo e inversor	Voltaje de Red	20 kV	
Transformador externo	Conductores: 3x150.0 mm ²	400 m	Fracción de pérdidas 0.1 % en STC
	Pérdida hierro (Conexión 24H)	4940 W	Fracción de pérdidas 0.1 % en STC
	Pérdidas Resistivas/Inductivas	323.9 mOhm	Fracción de pérdidas 0.8 % en STC
Indisponibilidad del sistema	7.3 días, 3 períodos		Fracción de tiempo 2.0 %

PVsyst PRUEBA

PVsyst PRUEBA

PVsyst PRUEBA

Pvsyst Evaluation mode Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

PVSYST V6.79	28/04/19	Página 3/5						
Sistema Conectado a la Red: Resultados principales								
Proyecto : Retamala 10MW (Toledo)								
Variante de simulación : Cuerva - 10 MW								
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Helióstatos ilimitados con retroceso						
Orientación Campos FV	inclinación							
Módulos FV	Modelo	CS6U - 330P 1500V Pnom 330 Wp						
Conjunto FV	Núm. de módulos	30240 Pnom total 9979 kWp						
Inversor	Modelo	FS2800CH15_645V_20160212 3345 kW ac						
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0 Pnom total 13380 kW ac						
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)							
Resultados principales de la simulación								
Producción del sistema	Energía producida	20038 MWh/año						
	Índice de rendimiento (PR)	79.48 %						
<p>Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 9879 kWp</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="271 929 758 1254"> </div> <div data-bbox="813 929 1300 1254"> </div> </div>								
Cuerva - 10 MW								
Balances y resultados principales								
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	74.3	25.24	6.02	104.9	97.8	926	906	0.865
Febrero	91.5	32.64	7.95	123.1	115.5	1078	1055	0.859
Marzo	144.3	42.85	11.34	198.8	187.8	1706	1522	0.767
Abril	182.2	61.29	13.31	247.1	233.4	2092	2052	0.832
Mayo	212.0	66.93	18.22	282.2	267.4	2322	2277	0.809
Junio	237.3	60.81	24.38	316.8	300.7	2545	2245	0.710
Julio	260.4	45.95	27.12	354.6	337.9	2801	2748	0.777
Agosto	224.4	44.96	26.47	308.4	293.2	2461	2415	0.785
Septiembre	164.3	46.35	21.45	223.6	211.6	1828	1793	0.803
Octubre	118.0	37.84	15.97	162.5	152.8	1378	1351	0.833
Noviembre	83.6	22.97	9.47	117.8	110.5	1028	931	0.792
Diciembre	62.7	23.92	6.45	86.6	80.4	762	744	0.860
Año	1854.9	511.75	15.73	2526.3	2388.9	20928	20038	0.795
Legendas: GlobHor Irradiación global horizontal DiffHor Irradiación difusa horizontal T_Amb Temperatura Ambiente GlobInc Global Incidente plano receptor		GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados EArray Energía efectiva en la salida del conjunto E_Grid Energía inyectada en la red PR Índice de rendimiento						

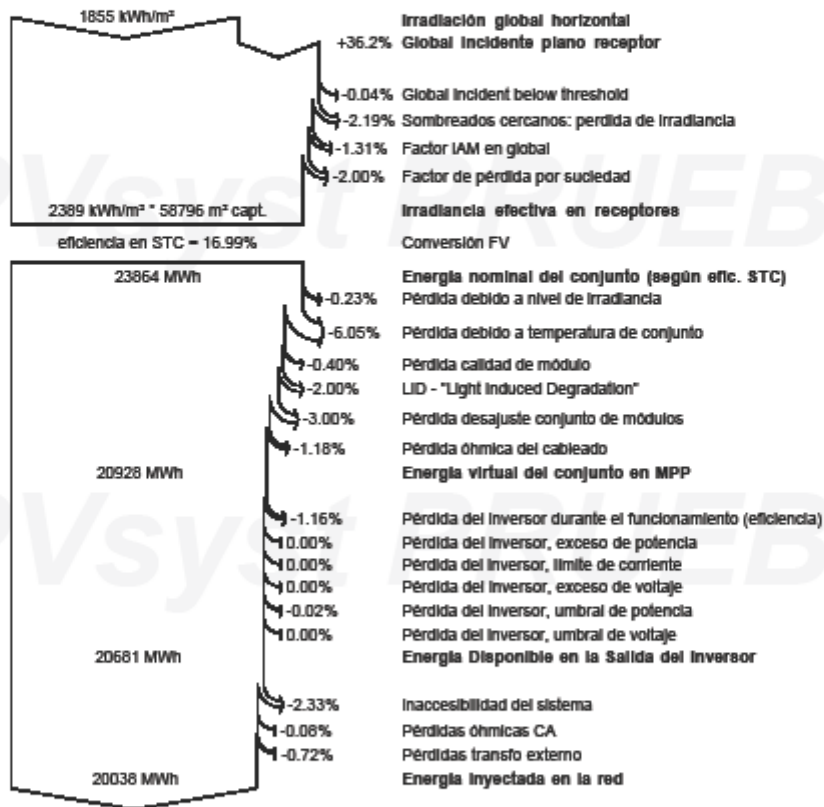
Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

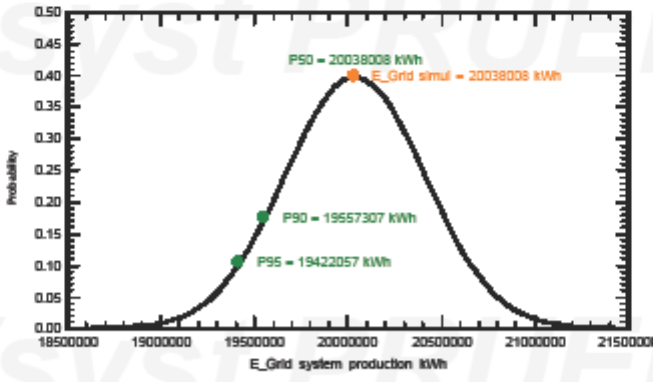
Proyecto : Retamala 10MW (Toledo)

Variante de simulación : Cuerva - 10 MW

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Helióstatos ilimitados con retroceso	
Orientación Campos FV	inclinación		
Módulos FV	Modelo	CS6U - 330P 1500V	Pnom 330 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	30240	Pnom total 9979 kWp
Inversor	Modelo	FS2800CH15_645V_20160212	3345 kW ac
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0	Pnom total 13380 kW ac
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)		

Diagrama de pérdida durante todo el año



PVSYST V6.79	28/04/19	Página 5/5																																							
Sistema Conectado a la Red: Evaluación P50 - P90																																									
Proyecto : Retamala 10MW (Toledo)																																									
Variante de simulación : Cuerva - 10 MW																																									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Parámetros principales del sistema</td> <td style="width: 30%;">Tipo de sistema</td> <td style="width: 40%;">Helióstatos ilimitados con retroceso</td> </tr> <tr> <td>Orientación Campos FV</td> <td>inclinación</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Módulos FV</td> <td>Modelo</td> <td>CS6U - 330P 1500V Pnom 330 Wp</td> </tr> <tr> <td>Conjunto FV</td> <td>Núm. de módulos</td> <td>30240 Pnom total 9979 kWp</td> </tr> <tr> <td>Inversor</td> <td>Modelo</td> <td>FS2800CH15_645V_20160212 3345 kW ac</td> </tr> <tr> <td>Paquete de inversores</td> <td>Núm. de unidades</td> <td>4.0 Pnom total 13380 kW ac</td> </tr> <tr> <td>Necesidades del usuario</td> <td>Carga ilimitada (red)</td> <td></td> </tr> </table>			Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Helióstatos ilimitados con retroceso	Orientación Campos FV	inclinación		Módulos FV	Modelo	CS6U - 330P 1500V Pnom 330 Wp	Conjunto FV	Núm. de módulos	30240 Pnom total 9979 kWp	Inversor	Modelo	FS2800CH15_645V_20160212 3345 kW ac	Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0 Pnom total 13380 kW ac	Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)																			
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Helióstatos ilimitados con retroceso																																							
Orientación Campos FV	inclinación																																								
Módulos FV	Modelo	CS6U - 330P 1500V Pnom 330 Wp																																							
Conjunto FV	Núm. de módulos	30240 Pnom total 9979 kWp																																							
Inversor	Modelo	FS2800CH15_645V_20160212 3345 kW ac																																							
Paquete de inversores	Núm. de unidades	4.0 Pnom total 13380 kW ac																																							
Necesidades del usuario	Carga ilimitada (red)																																								
<p>Evaluación de la previsión de la probabilidad de producción</p> <p>La distribución de la probabilidad de producción del sistema para diferentes años depende principalmente de los datos meteorológicos utilizados para la simulación, y depende de las siguientes opciones:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Origen de los datos meteorológicos</td> <td style="width: 20%;">Meteonorm 7.2 (1995-2010), Sat=100%</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Datos meteorológicos</td> <td>Tipo</td> <td>No definido Año 1995</td> </tr> <tr> <td>Desviación especificada</td> <td>Desv. anual con respecto al promedio</td> <td>3 %</td> </tr> <tr> <td>Variabilidad de un año al otro</td> <td>Varianza</td> <td>0.5 %</td> </tr> </table> <p>La varianza de la distribución de probabilidad depende también de las incertidumbres de ciertos parámetros del sistema</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Desviación especificada</td> <td style="width: 30%;">Parám./modelo de módulo FV</td> <td style="width: 40%;">1.0 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Incertidumbre eficiencia inversor</td> <td>0.5 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Incertidumbres ensuciado y desajuste</td> <td>1.0 %</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Incertidumbre de la degradación</td> <td>1.0 %</td> </tr> <tr> <td>Variabilidad global (meteorología y sistema)</td> <td>Varianza</td> <td>1.9 % (suma cuadrática)</td> </tr> </table> <p>Probabilidad de producción anual</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;"></td> <td style="width: 20%;">Variabilidad</td> <td style="width: 40%;">375 MWh</td> </tr> <tr> <td></td> <td>P50</td> <td>20038 MWh</td> </tr> <tr> <td></td> <td>P90</td> <td>19557 MWh</td> </tr> <tr> <td></td> <td>P95</td> <td>19422 MWh</td> </tr> </table>			Origen de los datos meteorológicos	Meteonorm 7.2 (1995-2010), Sat=100%		Datos meteorológicos	Tipo	No definido Año 1995	Desviación especificada	Desv. anual con respecto al promedio	3 %	Variabilidad de un año al otro	Varianza	0.5 %	Desviación especificada	Parám./modelo de módulo FV	1.0 %		Incertidumbre eficiencia inversor	0.5 %		Incertidumbres ensuciado y desajuste	1.0 %		Incertidumbre de la degradación	1.0 %	Variabilidad global (meteorología y sistema)	Varianza	1.9 % (suma cuadrática)		Variabilidad	375 MWh		P50	20038 MWh		P90	19557 MWh		P95	19422 MWh
Origen de los datos meteorológicos	Meteonorm 7.2 (1995-2010), Sat=100%																																								
Datos meteorológicos	Tipo	No definido Año 1995																																							
Desviación especificada	Desv. anual con respecto al promedio	3 %																																							
Variabilidad de un año al otro	Varianza	0.5 %																																							
Desviación especificada	Parám./modelo de módulo FV	1.0 %																																							
	Incertidumbre eficiencia inversor	0.5 %																																							
	Incertidumbres ensuciado y desajuste	1.0 %																																							
	Incertidumbre de la degradación	1.0 %																																							
Variabilidad global (meteorología y sistema)	Varianza	1.9 % (suma cuadrática)																																							
	Variabilidad	375 MWh																																							
	P50	20038 MWh																																							
	P90	19557 MWh																																							
	P95	19422 MWh																																							
<p>Probability distribution</p> 																																									
<p style="font-size: small;">PVsyst Evaluation mode Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.</p>																																									