

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE SEVILLA



MEMORIA DESCRIPTIVA

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE POTENCIA NOMINAL 100 KW SOBRE CUBIERTA

MANUEL GABRIEL VIZCAÍNO BARRIOS
PROYECTO FINAL DE CARRERA

MEMORIA DESCRIPTIVA.

1. DATOS GENERALES Y RESUMEN DEL PROYECTO.	3
1.1. Emplazamiento:	3
1.2. Descripción general de la instalación	3
1.3. Datos del punto del acceso/conexión:	5
2. INTRODUCCIÓN.	7
3. DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR FOTOVOLTAICO.	10
4. MARCO NORMATIVO LEGAL.	11
5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN	13
5.1. UBICACIÓN Y DATOS DEL EMPLAZAMIENTO.	13
5.2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.	13
6. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.	14
6.1. MATERIAL DE LAS CÉLULAS	14
6.2. CARACTERÍSTICAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.	17
6.3. CARACTERÍSTICAS DE SOPORTES	19
6.4. CARACTERÍSTICAS DE INVERSORES	19
6.5. CABLEADO, CAJAS Y ZANJAS EN CORRIENTE CONTINUA	22
6.6. DISTRIBUCIÓN EN CORRIENTE ALTERNA Y CONEXIÓN A RED	23
6.7. PROTECCIONES	23
6.7.1. PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS.	24
6.7.2. PROTECCIONES DE C.C. Y C.A.	24
6.7.3. SEPARACIÓN GALVÁNICA.	24
6.7.4. PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS.	25
6.7.5. FUSIBLES	25
6.7.6. ARMARIO DE PROTECCIONES	25
6.7.7. MAGNETOTÉRMICO.	26
6.7.8. INTERRUPTOR DIFERENCIAL	26
6.7.9. PROTECCIÓN CONTRA RAYOS E INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA.	27
7. VENTAJAS SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES DE LA INSTALACIÓN.	28

1. DATOS GENERALES Y RESUMEN DEL PROYECTO.

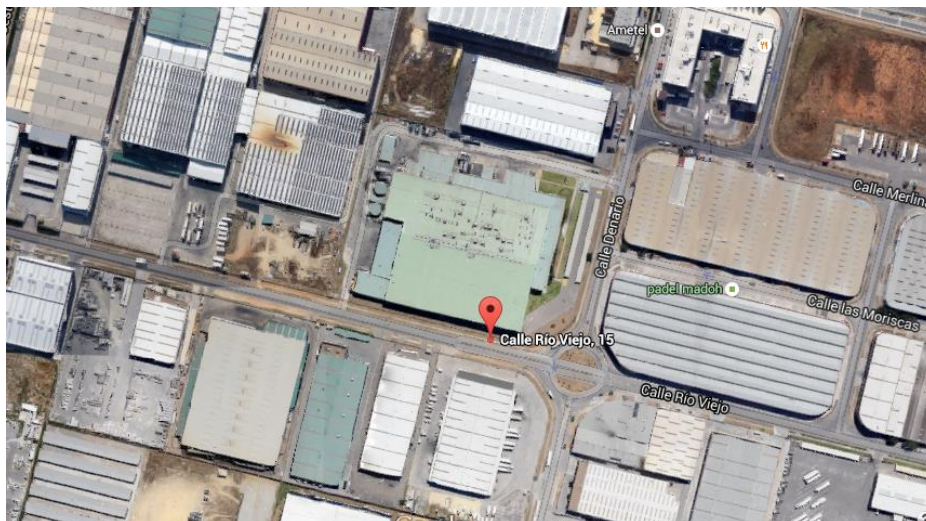
“Instalación fotovoltaica de potencia nominal 100kW sobre cubierta”

Este proyecto consiste en una instalación de aprovechamiento de la energía solar mediante un sistema fotovoltaico para autoconsumo.

A continuación se presentan los datos generales del proyecto:

1.1. Emplazamiento:

La instalación solar fotovoltaica, de 102kWp para autoconsumo, se ubicará en la cubierta de una nave, ubicada en la calle Río Viejo nº15, del Polígono Industrial La Isla (37.284401, -5.992656), perteneciente al término municipal de Dos Hermanas (Sevilla).



El proyecto tiene como finalidad diseñar una instalación que abastezca la demanda de energía eléctrica requerida para que la nave industrial no necesite aporte eléctrico convencional. El modelo aplicado será de autoconsumo sin almacenamiento local, de forma que se vierte la producción en la red eléctrica y se consume a la vez de la misma red eléctrica.

1.2. Descripción general de la instalación:

La Energía Solar es una energía limpia, que utiliza una fuente inagotable y que no supone coste, pero presenta como mayor inconveniente, poder convertirla de una forma eficiente en energía aprovechable. Actualmente, la tecnología apunta en dos direcciones principales: conversión eléctrica y conversión térmica.

La conversión directa en energía eléctrica se produce en las células solares y se basa en el efecto fotovoltaico. El objetivo de este apartado es dar una visión general de la tecnología empleada y las aplicaciones que permite.

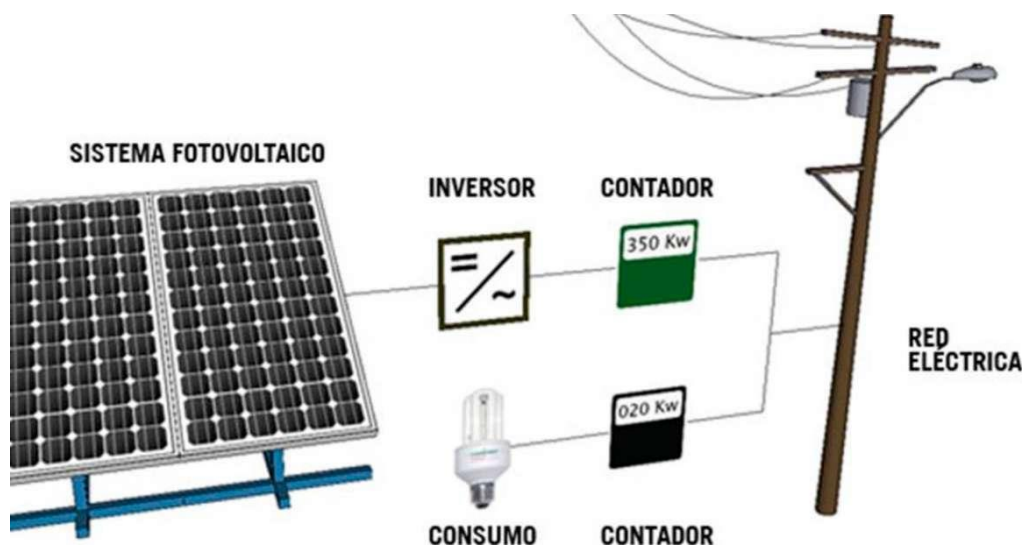
La energía fotovoltaica se basa en el principio de transformar la energía procedente de la radiación solar en electricidad, generando corriente continua, que posteriormente debe ser transformada a corriente alterna a la misma frecuencia que la red eléctrica a la cual vamos a realizar la conexión.

Consta de los siguientes elementos fundamentales:

- **Módulo solar fotovoltaico.** Los módulos fotovoltaicos transforman la luz solar directamente en energía eléctrica mediante una célula solar o célula fotovoltaica de silicio, utilizando el efecto fotoeléctrico. De esta manera al incidir los fotones sobre las células de silicio, se genera una diferencia de potencial en las bornas del panel, que si se une mediante un conductor genera corriente continua. Así, con la unión de varios módulos fotovoltaicos en serie o en paralelo, conseguiremos un sistema generador de energía eléctrica.
- **Inversor fotovoltaico:** El inversor fotovoltaico se encarga, mediante la electrónica de potencia, de transformar la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos, en corriente alterna a la misma frecuencia y tensión que la red de consumo.
- **Estructura soporte** para los módulos fotovoltaicos con óptima inclinación y orientación.

Como elementos secundarios estarán las protecciones eléctricas de corriente continua y alterna, así como los contadores para medir la energía inyectada a la red.

Un esquema básico de la instalación sería el siguiente:



1.3. Datos del punto del acceso/conexión:

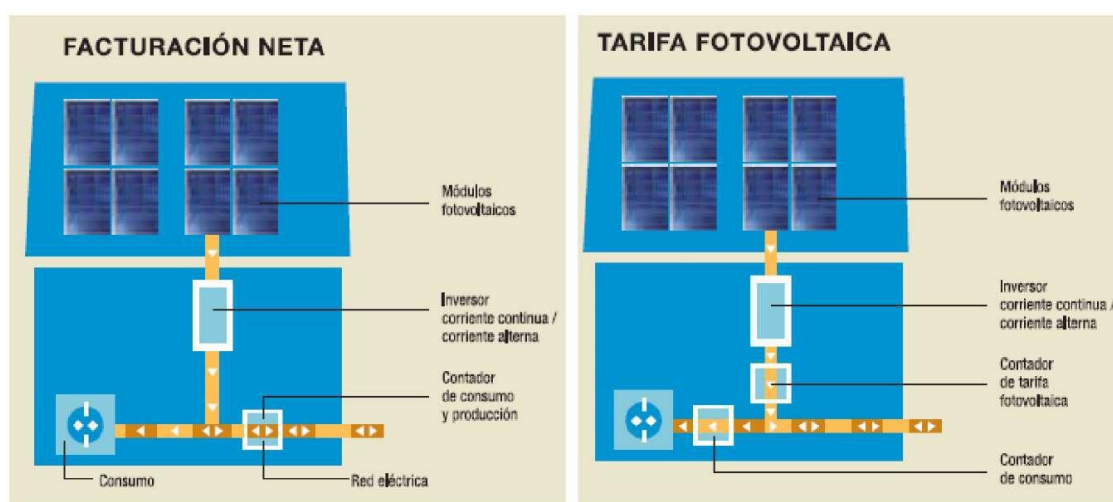
Más de un 90% de los generadores fotovoltaicos están conectados a la red de distribución eléctrica y vierten a ella su producción energética. Esto evita que instalaciones necesiten baterías y constituyen una aplicación más directa y eficiente de la tecnología.

Ya hay cientos de miles de sistemas fotovoltaicos conectados a la red que demuestran que la conexión a red es técnicamente factible y muy fiable. En países como Alemania, Japón o EE.UU., un número cada vez más grande de particulares y empresas están interesados en instalar un sistema fotovoltaico y conectado a la red. Las motivaciones para dar un paso semejante son diversas, algunos lo hacen para ganar dinero con la venta de la electricidad, otros para ahorrar electricidad en los picos de demanda o para dar estabilidad al consumo si el suministro que reciben es inestable, y muchos otros justifican la inversión por conciencia ambiental.

Para la conexión a red se utiliza un inversor que convierte la corriente continua de los paneles en corriente alterna. El inversor cumple además otras funciones, como monitorizar el sistema y desconectarlo de la red si hay algún funcionamiento anormal.

La electricidad solar se usa primero para consumo propio y los excedentes, si los hay, se inyectan a la red. El sistema fotovoltaico se conecta cerca del contador, pero en el lado del consumidor, reduciendo la necesidad de comprar electricidad; por lo tanto, disminuye la factura de la compañía eléctrica, que suministra sólo la energía que no aportan los paneles.

Cuando se produce un excedente, esa producción eléctrica se vierte en la red y puede recibir la tarifa fotovoltaica correspondiente, si lo contempla la regulación.



En los países donde la legislación obliga a las compañías eléctricas a aceptar la generación que conecta a sus redes, existe una tarifa para recompensar el “Kwh” de origen fotovoltaico. El sistema se suele conectar directamente a la red eléctrica, de modo que se inyecta el 100% de la energía producida.

En la práctica, las dos formas logran que la electricidad generada se consuma en el lugar que se produce. Ya sea en el propio edificio que aloja los paneles o por los consumidores cercanos a una instalación sobre suelo o sobre un elemento constructivo.

Sin embargo, financiera y administrativamente son dos casos muy distintos. En el caso de la tarifa fotovoltaica, es mucho más eficaz a la hora de promover la fuente renovable, ya que se tiene que emitir una factura y se tiene que llevar una contabilidad (En España, además, hay que hacer todos los trámites de una actividad económica, con la independencia del tamaño de la instalación).

En el caso de la facturación neta, en cambio, se obtiene un ahorro de consumo que no conlleva ninguna carga burocrática.

La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios (viviendas, centros comerciales, naves industriales...) se montan sobre tejados y cubiertas, pero se espera que un creciente número de instalaciones se integren directamente en el cerramiento de los inmuebles, incorporándose a tejas y otros materiales de construcción.

Los sistemas fotovoltaicos sobre tejados y cubiertas son de pequeño a mediano tamaño, esto es de 5 kW a 200 kW aunque a veces se supera este valor y se alcanzan 2-3 MW. Los sistemas fotovoltaicos también pueden reemplazar directamente a los componentes convencionales de las fachadas. Las fachadas solares son elementos enormemente fiables que aportan un diseño moderno e innovador al edificio y, al mismo tiempo, producen electricidad. En varios países son elementos que contribuyen a la imagen y prestigio corporativo de las empresas.

2. INTRODUCCIÓN.

Desde cualquier perspectiva, la energía constituye un factor fundamental para el desarrollo y funcionamiento del modelo de sociedad actual. La disponibilidad, precio y accesibilidad al conjunto de energías suponen pilares fundamentales para la construcción de cualquier economía, aunque también deben ir acompañados de políticas de sostenibilidad y responsabilidad medioambiental, en cuanto a los efectos que acarrea la creciente demanda energética.

En este contexto existen las denominadas *energías renovables*, es decir, las que de alguna forma no requieren plazos muy largos para ser generadas por la naturaleza (solar, eólica, biomasa, geotérmica, mareomotriz, etc.), en contraposición a las denominadas energías fósiles (carbón, petróleo, gas natural, uranio), que requieren plazos de millones de años para su generación natural.

Como respuesta al creciente consumo mundial de energía, en el año 2001 la Unión Europea aprobó la directiva para las energías renovables. El objetivo de ésta era duplicar para el año 2010, la cuota de las energías renovables en el consumo energético de la UE, y con ello contribuir a reducir la dependencia energética exterior de los países y la contaminación sobre el medio ambiente. Como paso indispensable para la sostenibilidad del planeta, el modelo energético europeo debía comenzar a abrirse hacia el horizonte de las nuevas tecnologías; tecnologías que pudieran sostenerse en el futuro haciendo el menor daño posible al entorno.

La sociedad española actual, en el contexto de la reducción de la dependencia energética exterior, de un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles y de una mayor sensibilización ambiental, demanda cada vez más la utilización de las energías renovables y la eficiencia en la generación de electricidad, como principios básicos para conseguir un desarrollo sostenible desde un punto de vista económico, social y ambiental.

En los últimos años, en España se está detectando un creciente interés de la población en la compra e instalación de sistemas fotovoltaicos, principalmente en los sistemas conectados a red. A ello ha contribuido significativamente el mencionado PER y en concreto los Reales Decretos que regulan la conexión a red de las instalaciones denominadas de “régimen especial”.

A nivel autonómico, la Junta de Andalucía ha establecido en la Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía (BOJA n1 70 del 10/04/2007), como continuación del Plan Energético de Andalucía (PLEAN) 2003-2006, aprobado por Decreto 86/2003, de 1 de abril, que para el año 2010 las fuentes de energías renovables debían suponer un 15% de la demanda de energía primaria de la Comunidad, superior al 12,1% fijado a nivel nacional.

La instalación objeto de este proyecto se encuentra dentro de la citada Ley 2/2007 o en su caso de la Ley de energías renovable de Andalucía (PASENER 2007), de modo que con la implantación fotovoltaica se contribuiría al desarrollo

de las energías renovables y por consiguiente a la mejora de la calidad del medio ambiente.

Con la reciente implantación del DECRETO 50/2008, de 19 de febrero, de la CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN CIENCIA Y EMPRESA de la Junta de Andalucía por el que se regulan los procedimientos administrativos referidos a las instalaciones de energía solar fotovoltaica emplazadas en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se ha establecido una nueva política para los productores, fomentando un prototipo de instalación fotovoltaica más acorde a los objetivos planteados en la citada ley PASENER.

Además, se establecen a nivel autonómico las condiciones técnicas adecuadas mediante la orden de 26 de marzo de 2007, por la que se aprueban las especificaciones técnicas de las instalaciones fotovoltaicas andaluzas, junto con su corrección de errores e instrucciones técnicas complementarias. Dicha orden también es responsabilidad de la CONSEJERÍA DE INNOVACIÓN CIENCIA Y EMPRESA.

La energía solar eléctrica, o fotovoltaica que es como más comúnmente se la conoce, es energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento.

Aunque la energía solar fotovoltaica solo representa el 0,001% del suministro de energía eléctrica que satisface las necesidades de consumo en todo el mundo, se prevé un rápido y significativo crecimiento de su implantación, basado en el actual desarrollo de la tecnología y el compromiso medioambiental de los países más desarrollados.

La industria fotovoltaica está concentrando su actividad y desarrollo en paliar las siguientes **desventajas**:

- La baja densidad energética obtenible del recurso, requiriendo una gran superficie en posible competencia con otros recursos. Un kilómetro cuadrado puede albergar entre 10 y 17 MWp de potencia dependiendo de la altitud y de las pérdidas que se pueda asumir por sobrecalentamientos.
- El bajo rendimiento en el proceso de transformación de la energía solar en energía eléctrica.
- La generación discontinua de electricidad debido a la propia naturaleza de la fuente de energía (día-noche).
- Debido al anterior factor, en sistemas aislados se requiere una mayor capacidad de almacenamiento de energía para abastecer normalmente consumos nocturnos.
- La posibilidad de que se produzcan cambios bruscos en la producción eléctrica debido a la aleatoriedad de la climatología.

- La dependencia de las primas a la producción por parte de las entidades gubernamentales y otras subvenciones, dado el elevado coste de inversión requerido.

Para ello las **investigaciones** se están centrando en los siguientes aspectos:

- El desarrollo de paneles fotovoltaicos con mayores niveles de eficiencia y menor coste de fabricación.
- La mejora de la eficiencia de los dispositivos de electrónica de potencia, de transformación y de protección.

Entre los motivos principales que justifican dicho desarrollo y evolución encontramos las siguientes **ventajas** de esta energía renovable frente a otras fuentes convencionales:

- Debido a la naturaleza del recurso solar, se trata de una fuente inagotable de energía que se encuentra abundantemente.
- Su presencia a lo largo y ancho de toda la superficie terrestre, permite la ubicación de sistemas fotovoltaicos en cualquier parte, siendo en muchos lugares el único recurso energético aprovechable.
- La conversión de la energía solar a eléctrica directamente permite la descentralización de la producción eléctrica, permitiéndonos producir energía eléctrica allí donde se encuentra el consumo.
- La vida útil de los generadores es elevada y además exige mantenimientos prácticamente nulos.
- El sector fotovoltaico es, en estos momentos, un sector atractivo para los inversores debido a las primas por producción conectada a la red. Este hecho repercute en la realización de grandes inversiones para aumentar la capacidad de producción y mejorar el estado de la tecnología actual.
- La alta modularidad de las instalaciones fotovoltaicas, permite ampliarlas sin realizar grandes cambios al respecto.

Además, la política energética nacional debe posibilitar, mediante la búsqueda de la eficiencia energética en la generación de electricidad y la utilización de fuentes de energía renovables, la reducción de gases de efecto invernadero de acuerdo con los compromisos adquiridos con la firma del protocolo de Kyoto.

Construir una instalación para aprovechar este tipo de energía puede ser mucho más barato y rentable de lo que se supone, lo cual se demostrará en el desarrollo del presente proyecto.

3. DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA GENERADOR FOTOVOLTAICO.

El generador fotovoltaico está formado por una serie de módulos del mismo modelo, conectados entre sí y encargados de transformar la energía del sol en energía eléctrica, generando una corriente continua proporcional a la irradiación solar que incide sobre ellos.

Sin embargo, para poder contrarrestar la energía del generador fotovoltaico con la energía inyectada de la red eléctrica se precisa que sea transformada en corriente alterna para acoplarse a la misma. Esta corriente se conduce al inversor que, utilizando la tecnología de potencia, la convierte en corriente alterna a la misma frecuencia, tensión y secuencia de fases que la red eléctrica.

El total de módulos de la presente instalación será de 400, con una potencia unitaria de 255Wp, configurando un campo fotovoltaico de 102kWp conectado a 4 inversores de 25kW de potencia nominal.

A la salida de los inversores, en corriente alterna de 400V, se conecta los cuadros de protección y medida de la instalación.

El conjunto dispondrá de los elementos necesarios para su protección, garantizando así en todo momento la seguridad de las personas y la calidad del suministro.

La energía generada será para la propia alimentación de la industria, restando, en su caso, su propio consumo, por lo que la correspondiente celda de medida tendrá menor consumo respecto a la red eléctrica.

En una misma instalación se pueden emplear varios inversores, cada uno con su generador fotovoltaico de forma independiente. Esto permite realizar operaciones de mantenimiento en una parte de la instalación sin interferir en el resto y confiere una gran modularidad al sistema en lo que respecta a la potencia nominal, adaptación a su emplazamiento y su posibilidad de ampliación.

4. MARCO NORMATIVO LEGAL.

En el presente proyecto, tanto en el diseño como los componentes utilizados cumplen las prescripciones establecidas en la Normativa siguiente:

- R.D. 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-BT-04, ITC-BT-30 y la ITC-BT-40.
- Normas UNE de obligado cumplimiento así como aquellas que se relacionan en las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Resolución de 5 de mayo de 2005 de la Dirección General de Industria, Energía y Minas por la que se aprueban las Normas Particulares y Condiciones Técnicas y de Seguridad de la empresa distribuidora de energía eléctrica, Endesa Distribución SLU, en el ámbito de la comunidad Autónoma de Andalucía. En particular el capítulo VIII.
- Norma ONSE-30.01-24D, de la Compañía Sevillana de Electricidad sobre instalaciones fotovoltaicas. Condiciones Técnicas de conexión a la red de baja tensión.
- RD 1955/2000, 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Recomendaciones UNESA.
- R.D. 486/1997, 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Resolución de 31 de mayo de 2001, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.
- Instrucción de 21 de enero de 2004, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, sobre el procedimiento de puesta en servicio de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red.
- R.D. 667/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (BOE nº 126 del 26/05/2007).

- R.D. 1578/2008, del 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del R.D. 666/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.
- R.D 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.
- Código Técnico de la Edificación (CTE).

5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA INSTALACIÓN

5.1. UBICACIÓN Y DATOS DEL EMPLAZAMIENTO.

La ubicación concreta de dicha instalación se detalla a continuación:

- **Dirección:** Calle Río Viejo (Polígono Industrial La Isla).
- **Término Municipal:** Dos Hermanas.
- **Provincia:** Sevilla.
- **Coordenadas UTM:** 37.2845°N 5.994°W 30S
- **Ubicación del campo fotovoltaico:** Sobre cubierta.

5.2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.

A continuación se detalla la configuración de la instalación, con las características básicas previamente descritas.

Nuestra instalación se compone de 400 módulos fotovoltaicos de potencia unitaria nominal de 255W formando un campo de 102 kWp.

Los módulos irán conectados a 4 inversores de 25kW cada uno mediante cadenas (ramales) de ellos, denominados “*strings*”.

Cada inversor tendrá conectado 4 *strings* de 25 módulos cada uno, formando un total de 16 ramales de 25 módulos que componen la totalidad de la instalación generadora.

La producción energética estimada (base de datos de radiación global diaria mediana mensual, proporcionada por la CONSERJERIA DE INNOVACION, CIENCIA Y EMPRESA DE LA JUNTA DE ANDALUCIA u organismo europeo de reconocido prestigio) con un PR (“*performance ratio*”) del 83% y la inclinación establecida, se muestra en las tablas situadas en memoria de cálculo pertinentes.

En este apartado correspondiente de la memoria de cálculo se presenta un resumen numérico para la obtención de la configuración propuesta para la planta fotovoltaica con los datos eléctricos más relevantes.

6. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.

En la conexión de la instalación fotovoltaica se respetará que la caída de tensión provocada por la conexión y desconexión de la instalación fotovoltaica sea inferior al 1,5 % de la tensión nominal y no deberá provocar en ningún usuario de los conectados a la red la superación de los límites indicados en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

El factor de potencia de la energía suministrada a la compañía distribuidora será lo más próximo posible a la unidad y nunca inferior a 0,86. Los inversores previstos inyectarán corriente con un factor de potencia unidad.

6.1. MATERIAL DE LAS CÉLULAS

Tipos de células

- **Silicio cristalino:** Monocristalino y Policristalino

- **Película delgada:** Silicio Amorfo, diselenuro de cobre e indio (CIS), telurio de Cadmio.

- **Células híbridas.**

Las células cristalinas están formadas fundamentalmente por silicio, siendo éste el material más abundante en la Tierra después del oxígeno. No se encuentra en estado puro sino unido químicamente al oxígeno en forma de dióxido de silicio. Para obtener silicio puro se debe separar el oxígeno no deseado del dióxido y para ello se introduce la "arena de cuarzo" junto con "polvo de carbono" en un crisol donde ambos se funden. De esta manera se obtiene el denominado silicio metalúrgico con una pureza del 98%.

Este silicio no es de la suficiente pureza como para que pueda ser utilizado con fines electrónicos, ya que para estas aplicaciones se exige un grado de impurezas admisible de una milmillonésima parte. Por este motivo se purifica el silicio metalúrgico mediante procesos químicos.

El silicio se muele y se mete junto con gas de hidruro de cloro (clorhídrico) en un horno. El producto químico de dicha reacción es hidrogeno y Cl_3Si , un líquido que hierve a 31°C . Mediante destilaciones sucesivas se alcanza el grado de pureza deseada ya que en cada destilación este va aumentando.

Posteriormente se coloca el Cl_3Si , con hidrógeno a 1000°C obteniéndose así silicio. El silicio puede ser manipulado posteriormente de muchas formas diferentes. En función del procedimiento se obtienen células monocristalinas o policristalinas.

Los fabricantes de células solares se proveen, hasta ahora, principalmente del material procedente de los residuos de semiconductores en la industria electrónica.

Células monocristalinas de silicio

Fabricación: Para la obtención de silicio monocristalino de aplicación terrestre se establece un proceso denominado Czochralski (proceso en crisol).

Mediante este procedimiento se toma una semilla de silicio monocristalino con una determinada orientación cristalina y se introduce en el crisol hasta que toca la superficie de la masa fundida de silicio que se encuentra en el crisol (punto de fusión 1420°C) y se extrae hacia arriba girando muy lentamente sobre el eje de la varilla.

De esta manera se elaboran monocristales cilíndricos de un diámetro de unos 30 cm y una longitud de varios metros. Estos cilindros se cortan después en finas láminas de unos 0,3 mm de espesor denominadas obleas.

En el biselado y corte de las obleas de los monocristales se desperdicia gran parte del silicio, quedando como residuos.

A partir de las obleas dopadas tipo p se produce una fina capa dopada tipo n mediante difusión de fósforo (a una temperatura de 800 a 1200°C).

Tras la colocación en la capa posterior del contacto (electrodo posterior) se colocan las líneas por dónde circula la corriente en la cara anterior de la oblea y se le dota de una capa antirreflectante (AR).

Existen otros procedimientos de fabricación de silicio monocristalino como el de fases líquidas que permite obtener células solares con mayor pureza y con un rendimiento entre un 1-2 % mayor. El material de partida utilizado en este caso es una varilla de silicio de gran pureza pero muy caro. Éste es introducido en una bobina y con ayuda de un campo de alta frecuencia se funde desde abajo hacia arriba.

A partir de una semilla de silicio monocristalino en la punta de la varilla se convierte en silicio monocristalino enfriado. Las impurezas del material se quedan en la fundición.

Rendimiento: 15 - 18% (Silicio Czochralski)

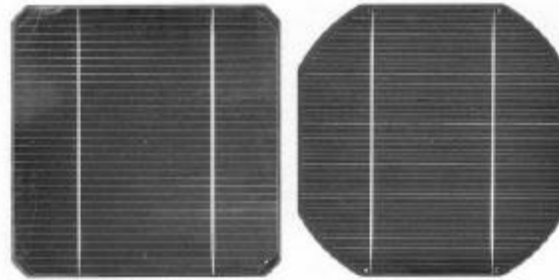
Forma: Según la cantidad de materia que se bisele se tienen células cuadradas, semicuadradas o redondas. Las células redondas son más baratas que las semicuadradas o que las cuadradas, ya que en su elaboración se desperdicia menos cantidad de material. Sin embargo no son las más empleadas en los módulos estándar debido al mal aprovechamiento de la superficie. En módulos especiales para la integración en fachadas dónde se busca un cierto grado de transparencia las células redondas son una buena alternativa.

Medidas: la mayoría 10 x 10 cm ó 12,5 x12,5 cm; Ø=10, 12,5 ó 15 cm

Espesor: 0,3 mm

Estructura: homogénea

Color: Azul oscuro a negro (con AR), gris (sin AR)



Célula monocristalina cuadrada y semicuada

Células policristalinas de silicio

Fabricación: El proceso de elaboración más usado para la obtención de silicio policristalino es el procedimiento de fusión en bloques. Se toma sílice al vacío y se calienta a 1500 °C, que debido a la menor temperatura del fondo del crisol en frío, a 800°C se enfría de nuevo. Se forma n bloques de silicio de 40 x 40 cm y 30 cm de altura.

Los bloques se cortan con una sierra en lingotes primero y posteriormente en obleas de 0,3 mm de espesor. En el corte de las obleas se pierde parte del silicio.

Mediante el proceso de dopaje con fósforo también se ponen los contactos eléctricos por la cara posterior. Por último se dota a la oblea con la red para direccionar la corriente en la cara anterior así como de un tratamiento superficial antirreflectante (AR).

Rendimiento: 13-15%

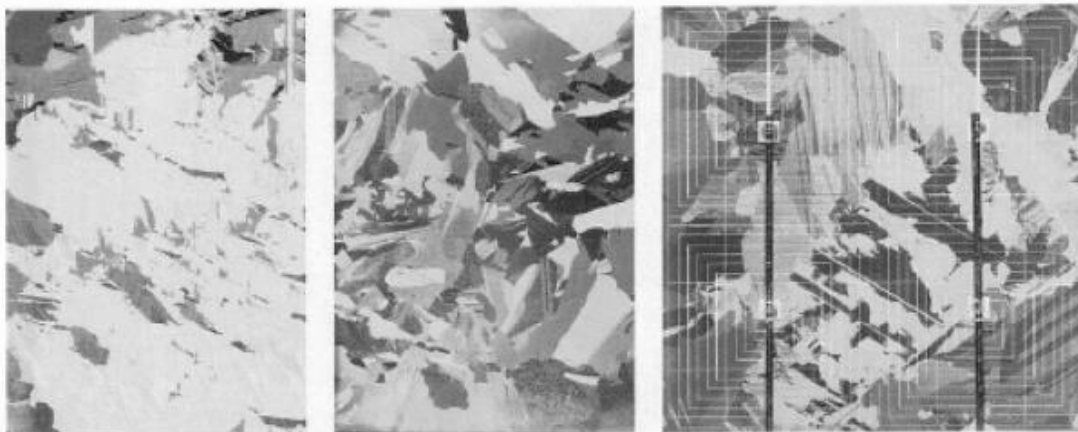
Forma: cuadrada

Medidas: 10x10cm, 12,5 x 12,5 cm, 15 x 15 cm

Espesor: 0,3 mm

Estructura: Por el procedimiento de fusión en bloques se forman cristales con diferentes orientaciones. Debido a la diferente reflexión de la radiación se reconocen fácilmente los cristales en la superficie (estructura de la flor del hielo)

Color: Azul (con AR), gris plata (sin AR)



Tipos de Oblea policristalina

A nivel comercial, los módulos que más se utilizan son los de silicio monocristalino y los de silicio policristalino. De los dos, el monocristalino es más eficiente (del orden de un 5-10 % más para la misma superficie de captación) y con una duración mayor en sus características eléctricas mientras que el policristalino suele ser más barato que el monocristalino para la misma potencia pico (del orden del 5-10 % menos).

A título orientativo, si se utilizan sistemas de seguimiento de la posición del sol, o sistemas de baja concentración de la radiación, se recomiendan módulos monocristalinos frente a los policristalinos ya que por la mayor eficiencia de los módulos monocristalinos por unidad de superficie aumenta la captación de energía para un sistema de seguimiento.

6.2. CARACTERÍSTICAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

El módulo fotovoltaico utilizado será el Isofotón ISF-255. Este modelo se caracteriza por tener una gran eficiencia debido a su alta tecnología con una alta eficiencia, las 60 células de contacto al dorso de silicio monocristalino, que componen este módulo de dimensiones compactas, están protegidas por un vidrio microestructurado con mayor capacidad de absorción de luz difusa que mejora el rendimiento energético. Marco de aluminio anodizado en negro, resistente a la corrosión.

El módulo ISF-255 (ficha técnica adjunta en Anexo 1: Fichas Técnicas) cumple con todas las especificaciones de calidad requeridas. Las características eléctricas del módulo se adjuntan a continuación:



- **Potencia nominal ($P_{\text{máx}}$):** 255 W
- **Tensión en circuito abierto (V_{oc}):** 37,9 V
- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}):** 8,86 A
- **Tensión en el punto de máx potencia:** 30,9 V
- **Intensidad en el punto de máx potencia:** 8,27 A
- **Eficiencia:** 15,4%
- **Tolerancia de potencia (% P_{max}):** 0/+3%
- **Célula solar:** Silicio Mono cristalino – 156 mm x 156 mm (6 pulgadas)
- **Número de células:** 60 células en configuración 6 x 10
- **Dimensiones:** 1667 x 994 x 45mm
- **Peso:** 19 kg
- **Vidrio:** Alta transmisividad, microestructurado y templado de 3,2 mm.
- **Marco:** Aluminio anodizado y toma de tierra.
- **Máxima carga adm:** 5400 Pa
- **Caja de conexión:** IP65 con 3 diodos de bypass
- **Cables y conector:** Cable solar de sección de 4 mm². Conector MC4 o compatible.

Todos los módulos deberán satisfacer las especificaciones UNE-EN 61215 para módulos de silicio cristalino así como estar cualificados por algún laboratorio reconocido, lo que se acreditará mediante la presentación del certificado oficial correspondiente.

Será rechazado cualquier módulo que presente defectos de fabricación como roturas o manchas en cualquiera de sus elementos así como falta de alineación en las células o burbujas en el encapsulado.

6.3. CARACTERÍSTICAS DE SOPORTES

La estructura soporte de las series de módulos fotovoltaicos estará formada por una parrilla en la que se ubicarán dichos elementos de perfilería de aluminio conforme a la normativa sobre estructuras en vigor, EA-95, AE-88 o CTE-2006.

Son encargadas de asegurar un buen anclaje del generador solar, facilitando la instalación y mantenimiento de los paneles, a la vez que proporcionan no solo la orientación necesaria, sino también el ángulo de inclinación óptimo para el aprovechamiento de la radiación.

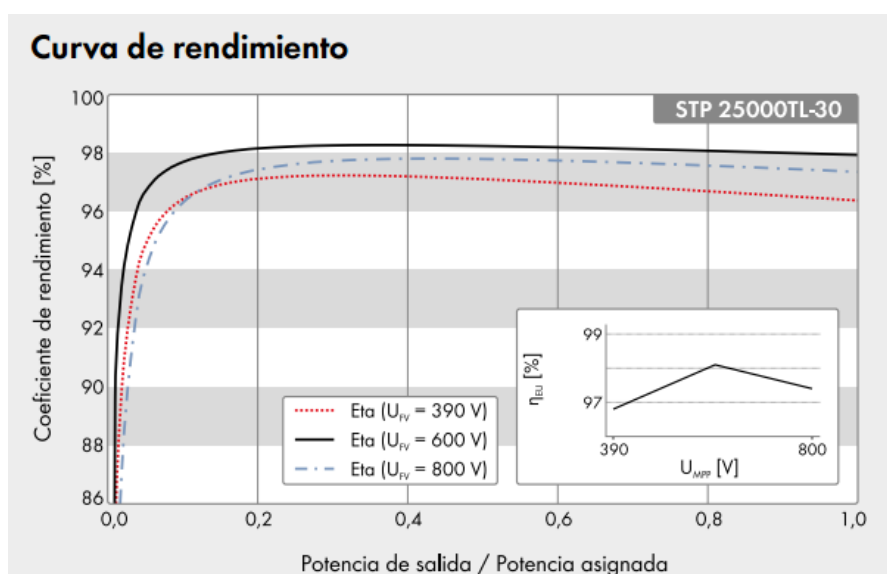
Se empleará tornillería inoxidable para la sujeción de los módulos, asegurando un buen contacto eléctrico entre el marco de los módulos y los perfiles soporte, por seguridad frente a posibles pérdidas de aislamiento en el generador o efectos inducidos por descargas atmosféricas.

6.4. CARACTERÍSTICAS DE INVERSORES

Los módulos fotovoltaicos generan corriente continua de intensidad proporcional a la radiación incidente. Para que el sistema pueda operar en paralelo con la red existente es necesario transformar esa corriente continua en corriente alterna de las mismas características que la de la red.

El sistema de conversión de potencia para esta instalación estará formado por cuatro inversores SMA TRIPOWER de potencia nominal 25Kw (ficha técnica adjunta en Anexo 1: Fichas Técnicas).

Su configuración en la instalación es tal que a cada inversor convergen 100 módulos de una potencia pico de 255 Wp, dando una potencia pico total en inversor de 25,50 kWp, formando las cuatro unidades el total de 102 kWp de la instalación al completo.



A continuación se muestran sus características técnicas:

- **Modelo:** Sunny Tripower 25000TL
- **Tensión de entrada máx:** 1000 V
- **Rango de tensión MPP/tensión asignada de entrada:** 390V – 800V/600V
- **Tensión de entrada mín./de inicio:** 150 V/180 V
- **Corriente máxima de entrada, entradas 3A/3B:** 33A/33^a
- **Núm. entradas MPP independientes/strings por entrada de MPP:** 2/A:3, B:3
- **Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz):** 25 kW
- **Potencia máxima aparente de CA:** 25 kVA

- **Tensión nominal de CA:** 220/380V, 230/400V, 240/415V
- **Rango de tensión nominal de CA:** 160V – 280V
- **Frecuencia de red de CA/rango:** 50Hz/60Hz
- **Corriente máxima de salida:** 36,2^a
- **Factor de potencia a potencia asignada:** 1
- **Factor de desfase ajustable:** 0 ind... 0 cap.
- **Fases de inyección/conexión:** 3/3
- **Rendimiento máximo:** 98,3%
- **Dimensiones (ancho/alto/fondo):** 665/690/265 mm
- **Peso:** 61 kg
- **Rango de temperatura de servicio:** -25°C...+60°C
- **Emisión sonora:** 51 dB(A)
- **Autoconsumo nocturno:** 1W
- **Tipo de protección:** IP65

Los inversores se instalarán de forma agrupada en el cuadro de agrupamiento situado en la cubierta de la instalación, adosado al cerramiento de placas de hormigón prefabricado situado en la fachada delantera de la nave.

El funcionamiento de los inversores es totalmente automático. En cuanto los módulos solares comienzan al alba con la generación de suficiente potencia, la unidad de control y regulación comienza con la supervisión de la tensión y frecuencia de la red. El inversor comienza con la alimentación en cuanto dispone de una irradiación solar suficiente, trabajando de tal modo que se extraiga la máxima potencia posible de los módulos. Ésta función que se denomina MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Los inversores seleccionados disponen de un transformador AF (AF = alta frecuencia) que garantiza la separación galvánica entre el lado de corriente continua y la red.

6.5. CABLEADO Y CAJAS EN CORRIENTE CONTINUA

Cableado

El conexionado entre módulos se realizará con terminales *Multicontact MC4* que facilitarán la instalación y además aseguran la durabilidad de las conexiones.

A partir del generador fotovoltaico los positivos y negativos se conducen separados, protegidos y señalizados de acuerdo a la normativa vigente.

Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para asegurar caídas de tensión inferiores al 1,5 % en la parte de CC de la tensión nominal, calculando los cables para una intensidad máxima admisible igual a la de cortocircuito del generador fotovoltaico.

El cable utilizado será un conductor flexible de cobre con aislamiento de polietileno reticulado, especialmente diseñado para intemperie y con resistencia contra los rayos UV. Está fabricado de acuerdo a norma UNE 21-123 y presenta unas prestaciones elevadas frente a sobrecargas y cortocircuitos.

El cableado de continua presentará doble aislamiento y será adecuado para el uso en intemperie, al aire o enterrado de acuerdo a la norma UNE 21-123.

Cajas de conexión

Las cajas de conexión en corriente continua deben ser resistentes a las condiciones climáticas del lugar, y como las que se coloquen en los soportes irán en el exterior precisan un grado de protección mínima IP 64, así como tener aislamiento clase II, con una clara distribución entre el polo positivo y el negativo. Serán cajas de dimensiones adecuadas, en su interior deben estar claramente identificados cada uno de los circuitos, fusible, interruptores, etc. El acceso a estas cajas estará limitado a personal autorizado.

Se colocará una caja de conexión por cada cuatro *strings*, conectando los módulos que albergan. Estas cajas, contarán con las bornas de conexión, los fusibles de seguridad o interruptores necesarios, así como el cable de conexión equipotencial que se conecta a tierra.

Las protecciones y forma de conexión del cableado queda especificada en los esquemas unifilares adjuntos.

6.6. DISTRIBUCIÓN EN CORRIENTE ALTERNA Y CONEXIÓN A RED

Cableado

El cableado de CA se corresponde al último tramo de la instalación fotovoltaica, el cual finalizará con la conexión física de la misma a la red eléctrica de distribución en baja tensión. Este tramo se inicia a la salida del inversor y finaliza en el punto de conexión a la red de baja.

El cable utilizado será un conductor flexible de cobre con aislamiento de polietileno reticulado especialmente diseñado para intemperie y con resistencia contra los rayos UV. Está fabricado de acuerdo a norma UNE 21-123 y presenta unas prestaciones elevadas frente a sobrecargas y cortocircuitos.

Los conductores tendrán la sección adecuada para asegurar caídas de tensión inferiores al 1 % en la parte de CA de la tensión nominal, incluidas las posibles pérdidas por terminales intermedios, y los límites de calentamiento recomendados por el fabricante de los conductores, según se establece en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

Caja de conexión

Las cajas de conexión en corriente alterna deben ser resistentes a las condiciones climáticas del lugar, irán en el interior de la caseta donde se encuentran los contadores, deberán tener aislamiento clase II. Se colocará una caja de conexión por cada contador, serán cajas de dimensiones adecuadas, en su interior debe estar claramente identificado cada uno de los, interruptores. El acceso a estas cajas estará limitado a personal autorizado.

6.7. PROTECCIONES

La protección eléctrica se podría definir como el conjunto de equipos necesarios para la detección y eliminación de incidentes en los sistemas o instalaciones eléctricas.

Toda instalación eléctrica debe estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista del cableado y de los aparatos a ellos conectados, como de las personas que han de trabajar con ella.

A continuación se describen los tipos de protecciones que deben emplearse en cualquier tipo de instalación eléctrica para hacerla completamente segura.

- Protección de elementos de un circuito contra sobre intensidades
- Protecciones contra sobretensiones

6.7.1. PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS.

Tanto en la división de corriente continua como la de alterna no existirá ningún acceso directo a las conexiones, para lo cual se instalarán las siguientes protecciones:

- **Módulos fotovoltaicos:** Bornas de conexión en el interior de las cajas, con la tapa atornillada y el aislamiento normalizado correspondiente en la entrada de cables. Tendrán un nivel de aislamiento del tipo clase II.
- **Cajas de conexión/agrupamiento de paneles:** Bornas portafusibles en el interior de la caja con la tapa atornillada y el aislamiento normalizado correspondiente en la entrada de cables. Serán del tipo de doble aislamiento, resistentes a las condiciones climáticas, por lo que tendrán un grado de aislamiento mínimo IP 65 y serán resistentes a la radiación UV.
- **Inversor:** Bornas de conexión interiores con tapa de acceso a ellas atornillada, entrada de cables mediante prensaestopas. Protección diferencial y magnetotérmica de salida.

En todos los casos se utilizarán cables de doble aislamiento RZ1-K (AS) 0,6/1 kV según norma UNE 21123.

6.7.2. PROTECCIONES DE C.C. Y C.A.

Corriente continua:

- El inversor, tiene en la entrada elementos de protección según fabricante y características técnicas.
- Las cajas de conexión disponen de fusibles de protección para proteger las líneas.

Corriente alterna:

- El inversor, dispone de un interruptor magneto térmico de protección a la salida de éste.
- No obstante se colocará un interruptor diferencial después del inversor y antes de la conexión al sistema a abastecer.

6.7.3. SEPARACIÓN GALVÁNICA.

El inversor viene provisto de un transformador toroidal (norma UNE 60742) de aislamiento galvánico. Así garantizamos la separación eléctrica entre la red y la instalación de este proyecto.

6.7.4. PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS.

En el lado de corriente continua se instalará un detector de defectos de aislamiento con indicador óptico de fallo y ajuste de sensibilidad mediante potenciómetro o similar. En el lado de corriente alterna se instalará un interruptor automático tripolar diferencial con una sensibilidad de 300 mA, o protección similar.

6.7.5. FUSIBLES.

Los fusibles tienen como función principal intercalarse en un punto determinado de la instalación eléctrica para que se funda en un período de tiempo determinado, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos.

A continuación de cada grupo de paneles o *string* en serie se instalará un fusible tipo gG de 10 A de intensidad nominal y otro de las mismas características justo a la entrada de la caja exterior de conexión para proteger los conductores de 6 mm².

6.7.6. ARMARIO DE PROTECCIONES Y EQUIPO DE MEDIDA

El armario de protecciones se encargará de controlar la intensidad de salida del inversor y proteger la línea de salida trifásica. El cuadro de protección se unirá mediante una línea trifásica con el transformador. En el armario se ubicarán los dispositivos de protección tales como el magneto térmico e interruptor diferencial. Se ubicará entre el inversor y el cuadro de distribución del edificio.

Los elementos para la medida de la energía neta producida por la instalación fotovoltaica estarán ubicados en el módulo de salida. Este módulo se instalará a la salida de la instalación fotovoltaica, es decir anexo al armario de inversores, y se encontrará debidamente identificado. No estará dotado de fusibles. El módulo de salida será de tipo armario para su instalación en intemperie. Ambos cumplirán lo especificado para ellos en la Norma ENDESA NNL007 y serán precintables.

El contador de energía neta fotovoltaica producida tendrá la capacidad de medir en ambos sentidos o, en su defecto, se conectarán en el propio módulo de salida dos contadores en serie, uno en cada sentido. En el caso de la instalación con 2 contadores, éstos deberán estar debidamente identificados y marcados con adhesivos, con las leyendas que se exponen a continuación. Los rótulos deberán verse a través de la mirilla de la envolvente. Las inscripciones serán las siguientes:

- Contador que mide la energía que sale de la instalación: **“Salida”**.
- Contador que mide la energía que consume la instalación: **“Entrada”**.

Al estar la potencia nominal de la instalación fotovoltaica comprendida en el rango 55,42 kW (correspondiente a una intensidad de 80 A) $< P_n \leq 100$ kW, el equipo de medida de la instalación fotovoltaica estará compuesta por los siguientes elementos.

- Embarrado (3 fases y neutro).
- 3 transformadores de intensidad
- Regleta de verificación.
- 1 contador estático trifásico multifunción, de clase 1 o mejor en energía activa, con aplicaciones bidireccional, reactiva y cambio automático de tarifas.
- Envolvente que cumplirá con la norma ENDESA NNL005.

Las características del equipo de medida serán tales que la intensidad correspondiente a la potencia nominal de la instalación fotovoltaica se encuentre entre el 45 por 100 de la intensidad nominal y la intensidad máxima de precisión de dicho equipo. Los contadores utilizados estarán debidamente homologados y cumplirán con la normativa vigente para este tipo de dispositivos (instrucción MIE BT 015, ITC-BT-16 y RD 1663/2000).

6.7.7. MAGNETOTÉRMICO.

Un interruptor termo magnético, o disyuntor termo magnético, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos.

Con la finalidad de proteger la instalación de baja tensión a la salida del inversor de sobre intensidades y sobretensiones se colocará un interruptor automático tetrapolar de 160 A de intensidad nominal, 400 V de tensión nominal y poder de corte 50 kA, trabajando con curva de disparo C.

6.7.8. INTERRUPTOR DIFERENCIAL.

Con el interruptor diferencial podemos interrumpir el suministro de energía eléctrica cuando esta se deriva al conexionado a tierra en una cantidad superior a 30 mA, evitando que esta corriente aumente y ponga en peligro la vida de una persona. Puesto que la tensión de defecto máxima por norma no puede superar los 50 V, si se calibra el diferencial a 30 mA, la resistencia de tierra no puede superar los 166 Ω .

Se colocará un interruptor automático con una protección diferencial asociada, con sensibilidad ajustada a 30 mA tetrapolar a la salida de la instalación, cuya corriente nominal es 160 A, poder corte 25 kA y 400 V a.c.

6.7.9. PROTECCIÓN CONTRA RAYOS E INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA.

La instalación contra rayos y puesta a tierra se construirá según normas y reglas VDE y DIN, aplicando piezas de construcción según normas DIN48801 hasta 48852. Se dejará completa y lista para el servicio.

Puesta a tierra:

Las masas de la instalación fotovoltaica estarán conectadas a una tierra independiente a la del neutro de la empresa distribuidora. Asimismo, debe existir una separación galvánica entre cualquier red de distribución en BT y la generación fotovoltaica.

La puesta a tierra consta de tres circuitos:

La tierra a la que se conectará el pararrayos o sistema de inhibición para protección del campo fotovoltaico, a través de conductor desnudo de cobre.

La tierra a la que se conectará todas las masas de la instalación fotovoltaica a través de los conductores de protección de cobre aislado, que se llevan desde cada generador hasta la ubicación del inversor.

La tierra donde se conecta el inversor (para descarga de varistores y puesta a tierra del chasis), armario de protecciones de continua y armario de protecciones de alterna.

Los bornes de puesta a tierra de cada una de estas redes, que permiten las medidas de resistencia de tierra, así como su desconexión con cajas de seccionamiento de tierra, se situarán en un armario de tierras en el interior del armario de inversores. De estos partirán las líneas de enlace con tierra para su desconexión a las diferentes picas de puesta a tierra. Estas estarán situadas en el perímetro del edificio.

Todo el cableado cumplirá la Norma UNE 21030.

7. VENTAJAS SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES DE LA INSTALACIÓN.

La idoneidad de la instalación en la situación elegida se enmarca dentro del contexto de la situación energética actual y de la necesidad de un Medio Ambiente sostenible que sea capaz de generar riqueza sobre los municipios y regiones del territorio. A continuación, enumeran los beneficios y ventajas que el presente proyecto va a aportar al promotor.

Energía renovable:

La planta solar es una instalación de energía eléctrica limpia y autosuficiente, sólo es necesaria la irradiación solar.

La producción anual estimada de la misma es de **158,5 MWh/año**.

Mejora del Medio^o Ambiente y de la Eficiencia Energética.

La instalación supone los siguientes ahorros de emisiones contaminantes no emitidas al Medio Ambiente.

- Emisión de CO₂: 309,36 Tm/año
- Emisión de SO_x: 2126,15 kg/año
- Emisión de NO_x: 787,46 kg/año

Incidencia sobre el Medio Ambiente Local.

Las principales características de la instalación fotovoltaica con respecto a su incidencia sobre el medio ambiente local o entorno son las siguientes:

- No produce emisiones de gases contaminantes.
- No produce emisiones de efluentes líquidos.
- No produce residuos sólidos.
- No produce contaminación acústica.
- No tiene efectos nocivos ni incidencia alguna sobre la vegetación o la fauna local, ya que es una actividad totalmente compatible con estas.
- Al final de la vida útil de la instalación se procederá al desmantelamiento de la misma, restituyendo el emplazamiento a su estado original.

Incidencia Socioeconómica.

La construcción y puesta en servicio de la instalación fotovoltaica supone una fuerte inversión del orden de unos 150.000-200.000€ aproximadamente para el término municipal promotor. Esta inversión conllevará la creación de empleo directo e indirecto durante las fases de construcción y explotación de las mismas.

En la fase de construcción de la instalación fotovoltaica se generarán entre 4 y 10 puestos de trabajo para obra civil, instalación eléctrica y montaje. La estimación de esta fase es de 2 meses.

Durante la fase de explotación de la instalación fotovoltaica, cuya vida se estima en 25 años, se generarán entre 1 y 3 puestos de trabajo directo para realizar los trabajos de mantenimiento y vigilancia de la misma.