

# Instalación solar fotovoltaica

José Ramón Iglesias Rodríguez

Enginyeria Tècnica Industrial, especialitat en Electricitat

## Resumen

El objetivo del presente proyecto es definir una instalación solar fotovoltaica de 1MWn de potencia y estructura fija conectada a la red eléctrica, con ubicación en Pineda de Mar, provincia del Maresme. Se tomará una de las diez instalaciones de 100 kW de potencia nominal como instalación tipo, en la que se detallará toda la instrumentación, obras y tendido eléctrico necesario desde la captación de la energía solar en los paneles fotovoltaicos hasta el punto de conexión a la red.

La elaboración del estudio económico verifica el atractivo económico de este tipo de instalaciones a consecuencia de que toda la energía generada por los paneles será vendida a la compañía eléctrica acogiéndonos a rentables tarifas.

## 1. Introducción

Actualmente la creciente demanda energética y la escasez de los recursos fósiles, con el consecuente incremento en sus precios obligan a encontrar caminos distintos para la generación de energía eléctrica. Todos estos motivos unidos a la conciencia medio ambiental que poco a poco aflora en las políticas de los países desarrollados conlleva a la obligación por partes de los ingenieros por adentrarse en el conocimiento, innovación y desarrollo de las energías renovables.

Con el motivo de acceder a la energía solar fotovoltaica y proporcionar al lector la información necesaria para la puesta en marcha de una huerta solar fotovoltaica se ha elaborado dicho proyecto.

Para la creación de este proyecto se ha tenido en cuenta todos los aspectos necesarios para la creación de una instalación solar fotovoltaica desde la instalación de los paneles fotovoltaicos hasta la línea que será conectada a la red eléctrica de la compañía distinguiendo tres principales partes:

- Memoria
- Anexos
- Planos

## 2. Memoria

El presente proyecto define la instalación de una planta solar fotovoltaica de 1MWn de potencia sobre estructura fija con un ángulo óptimo de 35° y conectada a la red eléctrica de la compañía. Dentro de la memoria se detallan todas las partes de que consta la instalación solar fotovoltaica.

La huerta solar fotovoltaica se ubicará en la población de Pineda de Mar y dotará al municipio de una generación eléctrica por si mismo de 1.491.160 kWh anuales,

suficientes para cubrir la demanda eléctrica de los servicios municipales (581.376 Kwh anuales) y casi la mitad de lo consumido por el alumbrado público (2.193.476kWh anuales).

El total de la instalación consta de una potencia nominal de 1 MW y estructuralmente está dividida en:

- 10 Instalaciones generadoras PM-XX de 100kW.
- 4.800 Módulos fotovoltaicos, repartidos en diez grupos de 480.
- 10 Inversores de conexión a red INGETEAM, modelo INGECON SUN-100
- 5 Centros de transformación y un total de 10 transformadores de tensión.

Para la elaboración del proyecto se ha detallado únicamente una instalación tipo de 100 kWn, puesto que la instalación total será la suma de diez instalaciones de 100kWn totalmente idénticas.

Las infraestructuras principales que componen una instalación solar fotovoltaica de 100 kWn en BT son las siguientes:

- Estructura fija metálica
- Conjunto de placas solares para las instalaciones de 100 kW.
- 1 Inversor de potencia nominal 100 kW.
- Líneas eléctricas en baja tensión.
- Conjunto de instrumentación de protección y medida: 1 interruptor-seccionador CC, 1 interruptor automático CC, 1 interruptor magnetotérmico y diferencial AC y 1 contador bidireccional.
- Instalación de puesta a tierra.

El primer elemento que interviene en la generación de energía eléctrica son las placas fotovoltaicas que captan la energía producida por la radiación solar y la convierte en energía eléctrica en forma de corriente continua.

Las placas fotovoltaicas estarán situadas en estructuras fijas con un ángulo de inclinación óptimo  $\beta=35^\circ$  y una orientación, ángulo de azimut  $\alpha=0^\circ$ . De esta manera, orientando las placas al sur, se consigue que durante todo el año tengamos irradiación solar directa en las placas, pudiéndose desestimar la instalación de seguidores solares y abaratando así el coste inicial de la instalación.

Se instalarán un total de 480 placas fotovoltaicas por instalación de 100kWn, con las siguientes características:

Fabricante	SOLARIA
Modelo Placa	S6M230

Potencia Placa	230
Nº Instalaciones	10
Nº Ramas por instalación	2
Nº total Placas	480
Serie/Paralelo (por rama)*	20/12
INSTALACIÓN	
Imp (A)	182.88
Vmp (V)	604
Isc (A)	192.24
Voc (V)	740
Ptotal (Wp)	110459

**Tabla 1.** Características instalación 100 kW.

\* La conexión serie se efectuara mediante 5 grupos de 4 paneles. Con lo que tendremos una instalación con 4 filas y 5 columnas de paneles para obtener los 20 paneles conectados en serie y 12 de estos grupos de 20 paneles conectados en paralelo para cada rama. Para la conexión entre placas utilizaremos cableado Tecsun S1ZZ-F 0.6/1kV de sección 4 mm<sup>2</sup>.

Para la protección de las placas instalaremos en la salida de cada rama un armario Himel CRSX en el que situaremos:

- Interruptor-seccionador CC.
- Limitadores de sobretensión.
- Medida de corriente y tensión.

Conectados en la línea de sección 150 mm<sup>2</sup> designado como tipo RV-K 0.6/1kV que unirá las placas solares con el inversor.

El inversor será el encargado de convertir la corriente continua generada en los módulos solares en corriente alterna sincronizada con la de la red. Funciona como interfase entre el campo generador fotovoltaico y la red eléctrica. De este modo, el sistema fotovoltaico conectado a red forma parte de los sistemas de generación que alimentan a dicha red.

El funcionamiento de los inversores es totalmente automático. La instalación constará de 1 inversor trifásico de la casa Ingeteam en su modelo INGECON SUN 100, de una potencia nominal de 100 kW y una tensión de salida de 400 Vac a 50 Hz. El inversor estará instalado dentro del centro de transformación.

Las características técnicas de cada inversor serán las siguientes:

<b>FABRICANTE</b>	INGETEA, S.A.
<b>MODELO INVERSOR</b>	INGECON SUN 100
<b>CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA DC</b>	
<b>Rango de tensión MPP</b>	450-750 Vdc
<b>Máxima Tensión</b>	900 Vdc
<b>Máxima corriente</b>	255 A

<b>CARACTERÍSTICAS DE SALIDA AC</b>	
<b>Potencia nominal</b>	100 kW
<b>Potencia máxima</b>	110 kW
<b>Potencia pico de paneles</b>	Hasta 25% Potencia nominal del inversor
<b>Máxima corriente eficaz</b>	158 A
<b>Tensión</b>	3 x 400 Vac
<b>Frecuencia nominal</b>	50/60 Hz
<b>Distorsión armónica</b>	<3% (THD)
<b>Coseno de Phi</b>	1 (Seleccionable 0,9-1)

**Tabla 2.** Características inversor Ingecon sun 100

Ubicaremos sistemas de protecciones antes y después de la instalación del inversor.

En la entrada del inversor instalaremos un interruptor automático CC que nos protegerá los equipos abriendo el circuito cuando la intensidad que circule por este sea un valor excesivo.

La protección en la salida del inversor se efectuará mediante la instalación de un interruptor magnetotérmico y diferencial que nos ofrecerá protección de personas por faltas de aislamientos.

Seguidamente a esta protección se instalarán los equipos de medida y control que nos permitirán conocer en todo momento las características y la cantidad de energía eléctrica generada. Para ello instalaremos un interruptor CA en carga que realizará el mando y seccionamiento de los circuitos de distribución eléctrica y una central de medida y un analizador de red que nos permitirán obtener una medida avanzada de parámetros eléctricos. Ubicaremos toda la instrumentación en un armario Himel para la medida BT modelo PN.

La conexión entre el inversor y el cuadro de medida se realizará mediante cable de cobre de tensión nominal 0,6/1 kV de sección 95 mm<sup>2</sup>, y aislamiento en polietileno reticulado (XLPE). Su designación será RVK 0,6/1 kV. Irá instalado al aire.

La tensión de salida del inversor es de 400 V en AC y necesitaremos elevarla mediante un transformador a la tensión de la red de conexión que en nuestro caso es de 11 kV.

Para conseguir la elevación de tensión necesaria Se instalarán un total de 5 centros de transformación que dispondrán de los siguientes elementos:

- Edificio prefabricado de hormigón Gama EHC 24, Merlin Gerin.
- Celdas de la gama SM6, Merlin Gerin.
- Transformador elevador BT/MT.
- Equipos de protección MT: Sepam serie 40.

- Ubicación para cuadro de contadores, cuadro de strings e inversores.

La caseta es de construcción prefabricada de hormigón monobloque apto para uso en intemperie con una puerta peatonal con acceso a celdas, cuadros e inversores y dos puertas ventiladas para acceso a transformadores, de dimensiones aproximadas de 6.440 x 2.500 x 3.300 mm.

Para su instalación no es necesario efectuar ningún tipo de cimentación, únicamente se debe realizar una excavación para la Cuba de recogida de aceite con una capacidad de 760 litros, diseñada para recoger en su interior el aceite del transformador sin que éste se derrame por la base.

La red de alimentación al centro de transformación será de tipo subterráneo a una tensión de 11 kV y 50 Hz de frecuencia y se instalarán celdas modulares para la protección de la línea y del transformador.

Serán celdas con dos salidas de línea y dos de protección de transformador, con lo que se podrán conectar a ambos transformadores del CT.

El bloque compacto de celdas contiene 2 módulos de protección de línea de las siguientes características:

- Interruptor - Seccionador automático de maniobra y seccionador de puesta a tierra en SF6 de 630 A, tensión de 12 kV y 25 kA.
- Indicadores de presencia de tensión y concordancia de fases.
- Mando CIT manual.
- Dispositivo para control de la presión.
- Embarrado de puesta a tierra.
- Bornes para conexión de cable.

El bloque compacto de celdas contiene 2 módulos de protección de transformador con fusibles de las siguientes características:

- Interruptor-seccionador en SF6 de 630 A y tensión de 12 kV.
- Mando CII manual de acumulación de energía.
- Tres cortacircuitos fusibles de alto poder de ruptura con baja disipación térmica, de 12 kV, y calibre 10 A.
- Señalización mecánica de fusión fusibles.
- Indicadores de presencia de tensión con lámparas.
- Embarrado de puesta a tierra.
- Seccionador de puesta a tierra de doble brazo (aguas arriba y aguas abajo de los fusibles).
- No contiene relé de protección.

Para cada instalación de 100kWn se necesita un transformador de tensión que convierta la salida del inversor a la tensión de red. En cada centro de transformación irán instalados dos transformadores de tensión con las siguientes características:

Potencia nominal	100kVA
Relación de tensión	11000 / 400 V
Tipo transformador	Prefabricado

Aislamiento	Clase A
Tensión de cortocircuito	4%
Pérdidas de vacío	320 W
Pérdidas de carga	1750 W a 75°C

**Tabla 3. Características transformador**

Será una máquina trifásica elevadora de tensión, siendo la tensión entre fases a la entrada de 420 V entre fases y 242 V entre fases y neutro, y la tensión a la salida en vacío de 11 kV.

El transformador a instalar tendrá el neutro accesible en baja tensión y refrigeración natural (ONAN), en baño de aceite mineral.

La tecnología empleada será la de llenado integral a fin de conseguir una mínima degradación del aceite por oxidación y absorción de humedad, así como unas dimensiones reducidas de la máquina y un mantenimiento mínimo.

Para la conexión en el lado de alta tensión utilizaremos un juego de puentes III de cables AT unipolares de aislamiento seco RHZ1, aislamiento 8.7/15 kV, de 240 mm<sup>2</sup> en Al con sus correspondientes elementos de conexión. Y en el lado de baja tensión utilizaremos un juego de puentes III de cables BT unipolares de aislamiento seco tipo RZ1-K, aislamiento 0,6/1 kV, de 1x240mm<sup>2</sup> Al para las fases y de 1x240mm<sup>2</sup> Al para el neutro.

La red a la cual alimenta el Centro de Transformación es del tipo subterránea, con una tensión de 11 kV, nivel de aislamiento según la MIE-RAT 12, y una frecuencia de 50 Hz. La potencia de cortocircuito en el punto de conexión, según los datos suministrados por la compañía eléctrica, es de 350 MVA, lo que equivale a una corriente de cortocircuito de 18.37 kA eficaces.

Para la vigilancia de la instalación una vez puesta en marcha se incorporará un sistema de vigilancia que contendrá:

- Seguridad pasiva: se prevé el cierre perimetral del Parque, mediante reja metálica galvanizada de 2 metros de altura, y puerta abatible de dos hojas en el acceso a la parcela.
- Seguridad activa: se instalará un sistema de protección perimetral con barreras microondas, integrado a un sistema de circuito cerrado de televigilancia (CCTV) e iluminación zonal. Todo el sistema monitorizado a través de un control central local (cuarto técnico) y remoto vía satélite.

La creación de un proyecto de esta magnitud requiere una inversión inicial importante ya que el precio de las placas fotovoltaicas es elevado y como hemos visto es necesaria la instalación de diversa instrumentación para la puesta en marcha de la instalación solar fotovoltaica.

En la elaboración del proyecto se ha hecho un estudio económico que justifique la inversión inicial necesaria acogiéndonos a las diversas tarifas contempladas en el RD 661/2007 que premian al inversor con grandes primas en la venta de energía eléctrica generada por recursos renovables, que hacen de estas instalaciones un gran negocio económico.

Las tarifas contempladas por el RD 661/2007 referidas a la generación mediante placas solares fotovoltaicas y con las características de nuestra instalación son las dos siguientes:

Potencia	Plazo	Tarifa regulada c€/kWh
P≤100kW	Primeros 25 años	45.5134
	A partir de entonces	36.4107
100kW< P≤10 MW	Primeros 25 años	43.1486
	A partir de entonces	34.5189

**Tabla 4.** Tarifa eléctrica regulada. Fuente: RD 661/2007

Para poder optar a la tarifa de P≤100kW, en nuestro caso es necesario dividir la instalación total en diez instalaciones de 100kW que corresponderán a diez propietarios distintos de la siguiente manera:

Huerta	Potencia
PM-01	100 kW
PM-02	100 kW
PM-03	100 kW
PM-04	100 kW
PM-05	100 kW
PM-06	100 kW
PM-07	100 kW
PM-08	100 kW
PM-09	100 kW
PM-10	100 kW

**Tabla 5.** Identificación de los propietarios de las parcelas

El presupuesto total de la instalación de 1MWn de potencia asciende a 6.018.804,60 €, costo que será dividido entre diez ascendiendo a 601.880,46 € cada instalación tipo de 100 kWn a invertir por cada uno de los diez propietarios de la instalación.

Toda la energía generada será vendida a la compañía eléctrica, puesto que al ser generada por la irradiación solar y venir de una fuente renovable debe ser comprada en su totalidad por la compañía eléctrica. Gracias a ello y atendiéndonos a la tarifa de 45.5134 c€/kWh en los primeros 25 años se puede pronosticar con exactitud las ganancias económicas anuales derivadas de la generación de energía eléctrica, estimando del estudio previo 1350 horas de sol anuales, obtendremos en el caso de la instalación tipo de 100 kWn con una producción estimada de 149116 kWh unas ganancias de 67867,7615 € y en el caso de la instalación total de 1 MWn con una producción estimada de 1491160 kWh de 678677,6154 €

Teniendo en cuenta que los gastos de mantenimiento anuales de la instalación ascienden a 10.700 € y el tiempo de vida de las placas fotovoltaicas es de 25 años podemos asegurar que en un periodo de 9 años la inversión inicial ya

será totalmente amortizada y al final de los 25 años en la con la instalación total de 1 MW de potencia nominal se obtendrán unos beneficios de 10.680.635,90 €, cantidad mucho mayor a la inicialmente invertida.

La otra alternativa viable es la de acogernos a la tarifa de 43.1486 c€/kWh en los primeros 25 años y de 100kW<

P≤10 MW que nos supondría una inversión inicial de 5.944.285,60 € menor que la anterior puesto que solamente necesitaríamos un centro de transformación y un único transformador de 1000 MVA de potencia, pero que solamente sería más rentable los dos primeros años y un mes, siendo los ingresos finales a los 25 años 807.055€ menos que la otra tarifa en la instalación de 1 MWn.

## 2. Anexos

La totalidad del proyecto lo conforman los siguientes anexos:

- Anexo 1. Cálculos
- Anexo 2. Pliego de condiciones
- Anexo 3. Estudio de seguridad y salud

En el primero de los anexos encontramos todos los cálculos referentes a la instalación que divididos en grupos principales son:

- Estudio energético
- Cálculo número de paneles
- Cálculo de la resistencia de puesta a tierra de la instalación.
- Cálculos justificativos en BT
- Cálculos de media tensión.
- Estudio Económico

El objeto del segundo anexo, del pliego de condiciones es la enumeración de las condiciones por las que debe regirse la ejecución de las infraestructuras que componen el proyecto de las 10 instalaciones solares fotovoltaicas en la población de Pineda de Mar.

En él se señalan los criterios generales que serán de aplicación, se describen las obras comprendidas, se fijan las características de los materiales a emplear, las normas para la ejecución de las distintas unidades de obra y pruebas previstas para las recepciones.

El Pliego de Condiciones constituye un conjunto de normas de obligado cumplimiento para el adjudicatario del contrato que regula la ejecución de las obras comprendidas en el presente Proyecto. Las normas en él establecidas se exigen para que todos los elementos integrantes cumplan garantías suficientes de buen funcionamiento.

La finalidad del tercer anexo, el Estudio de Seguridad y Salud Laboral es el de analizar los trabajos que deben realizarse durante la construcción de las 10 Instalaciones Solares Fotovoltaicas de Pineda de Mar, situada en la comarca del Maresme, para la detección y evaluación de todos los riesgos para la salud de los trabajadores y de personas ajenas, proponiendo medidas preventivas que eliminen dichos riesgos o minimicen las consecuencias de los mismos.

### 3. Planos

Con el fin de dotar al lector de una apreciación visual de la estructura, dimensiones y situación de la instalación solar fotovoltaica se ha elaborado un seguido de planos:

Nº Plano	Título
00	PLANO AEREO
01	DISPOSICIÓN GENERAL
02	DISTRIBUCIÓN PLANTA
03	DISTRIBUCIÓN RAMAS
04	ESTRUCTURA
05	DETALLE CIMENTACIÓN
06	ZANJA
07	UNIFILAR 100 kW
08	UNIFILAR 1 MW
09	PUESTA A TIERRA

*Tabla 6. Referencia plano.*

### 4. Conclusiones

La constante crecida de la demanda eléctrica a escala mundial unida al hecho del incremento del precio de los recursos fósiles conlleva a que vez sean más personas las que inviertan en el desarrollo de las energías renovables, provocando un crecimiento de instalaciones generadoras de energía eléctrica mediante recursos renovables muy importante a escala mundial.

La creación de políticas favorecedoras de la producción de energía eléctrica mediante recursos renovables en el ámbito nacional con tarifas muy bien remuneradas hacen de las instalaciones solares fotovoltaicas una alternativa muy interesante económicamente.

En el desarrollo del proyecto se puede observar como en el plazo de 25 años se puede casi doblar la inversión inicial, significando unos beneficios de más de 10 millones de euros.

Debido a la situación geográfica de Catalunya las instalaciones de estructura fija ofrecen una posibilidad muy rentable puesto que la inversión inicial es menor, la complejidad de la instalación es menor y durante todo el año pueden estar orientadas al sol y generando energía eléctrica.

Para la instalación de toda la instrumentación que conlleva un parque fotovoltaico es necesario disponer de un terreno amplio y llano que optimice en todo momento la captación de energía solar que requerirá de un escaso mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida.

### 4. Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas que me han ayudado y apoyado para la elaboración de este proyecto, haciendo especial mención a mis padres y familia, a mi novia Noemí Rodríguez, a mi tutor Jose Ignasi Perat y a mi hermano Claudio Iglesias.

### Referencias

Para la elaboración del proyecto se han seguido las siguientes referencias bibliográficas:

- [1] Eduardo Lorenzo Pigueiras, “radiación solar y dispositivos fotovoltaicos.” Año 2006
- [2] ABELLA, M. A. y CHENLO, F. “Estimación de la energía generada (II)” . *Era Solar nº 132. Mayo-Junio 2006.*
- [3] Enrique Alcor Cabrerizo. “instalaciones solares fotovoltaicas” Año 2003
- [4] Falk Antony, Christian Durschner, Karl-Heinz Remmers, “fotovoltaica para profesionales” *Editorial: Solarpraxis*
- [5] Ministerio de ciencia y tecnología, “Real Decreto REAL DECRETO 661/2007”, *de 25 de mayo sobre producción de energía eléctrica por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración. Mayo 2007.*
- [6] Ministerio de ciencia y tecnología, “Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. ITC-BT-40. Real Decreto 842/2002.” Agosto 2002.