

PROYECTO FOTOVOLTAICO PARA CONEXIÓN A RED

TÍTULO

“Instalación fotovoltaica de conexión a red
de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM”

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: “Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM”	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 1 de 73

Índice de contenido

1.1 EXPEDIENTE.....	4
1.2 AUTOR DEL ENCARGO.....	4
1.3 OBJETIVO.....	5
1.4 AUTOR DEL PROYECTO.....	5
1.5 UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	5
2.1 INTRODUCCIÓN A UNA INSTALACIÓN CONECTADA A RED.....	6
2.2 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE CONEXIÓN A RED.....	7
2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA UNIFILAR TIPO.....	7
2.2.2 TECNOLOGÍAS PREDOMINANTES DE INVERSORES.....	8
2.2.3 TECNOLOGIA DE INVERSOR ELEGIDA.....	11
2.3 LEGISLACIÓN APLICABLE:.....	11
2.4 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.....	13
2.5 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	15
2.5.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	15
2.5.2 INVERSORES.....	16
2.6 CONTADORES ,PROTECCIONES Y CONEXIÓN A LA RED DE BAJA TENSION,.....	17
2.7 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	21
2.7.1 INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA.....	21
2.7.2 DESCRIPCIÓN DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	21
2.7.3 DESCRIPCIÓN DE LA LINEA DE CONEXIÓN.....	22
3.1 CÁLCULO DE COMPROBACIÓN DEL GENERADOR FV (MODULOS vs. INVERSOR).....	23
3.2 CÁLCULO DE PERDIDAS POR SOMBREADO.....	24
3.3 CÁLCULO DE PERDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN.....	25
3.4 CÁLCULO ENERGÉTICO-ECONÓMICO.....	27
3.4.1 TEORÍA DE CÁLCULO.....	27
3.4.1.1 PARÁMETROS DE MÉRITO.....	27
3.4.2 RESULTADOS DEL CÁLCULO.....	34
3.5 CÁLCULO DE DISTANCIA ENTRE PANELES.....	37
3.6 CÁLCULO DEL EFECTO DEL VIENTO SOBRE LOS MÓDULOS.....	38
3.7 CÁLCULO DE CONDUCTORES.....	43
3.7.1 TEORÍA DE CÁLCULO.....	43
3.7.2 CÁLCULO DE SECCIONES.....	45
3.8 CÁLCULO DE PROTECCIONES Y CONTADORES.....	47
3.8.1 PUESTA A TIERRA.....	47
3.8.2 PROTECCIONES EN EL GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	47
3.8.2.1 (CC).CORTOCIRCUITOS.....	47
3.8.2.2 SOBRECARGAS.....	48
3.8.2.3 CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS.....	48
3.8.2.4 SOBRETENSIONES.....	49
3.8.3 PROTECCIONES DESDE EL GENERADOR AL PUNTO DE CONEXIÓN (CA).....	49
3.8.3.1 CORTOCIRCUITOS Y SOBRECARGAS.....	49
3.8.3.2 FALLOS A TIERRA.....	50
3.8.4 PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DE SUMINISTRO.....	50
3.8.4.1 INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DE INTERCONEXIÓN.....	50
3.8.4.2 SEPARACIÓN GALVÁNICA.....	51
3.8.4.3 FUNCIONAMIENTO EN ISLA.....	51
3.8.5 CONTADORES.....	52
4.1 CONDICIONES TÉCNICAS.....	52
4.1.1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION.....	52
4.1.2 MATERIALES.....	52
4.1.3 RECEPCIÓN DE MATERIALES.....	53
4.1.4 EJECUCIÓN DEL TRABAJO.....	53
4.1.5 RECEPCIÓN EN OBRA.....	53
4.1.6 MONTAJE DE EQUIPOS.....	54

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 2 de 73

4.1.6.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	54
4.1.7 MANTENIMIENTO.....	56
4.1.7.1 MODULOS FOTOVOLTAICOS.....	56
4.1.7.2 INVERSOR.....	56
4.1.7.3 CAJAS DE CONEXIÓN.....	57
4.1.7.4 CAMINOS DE CABLES.....	57
4.1.7.5 COMPROBACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA.....	57
4.1.8 GARANTÍA DE LOS EQUIPOS. INSTALACIÓN Y DIMENSIONADO.....	57
4.1.8.1 CONDICIONES GENERALES DE GARANTIA.....	57
4.1.8.2 GARANTÍA DE LOS EQUIPOS.....	58
4.1.8.3 GARANTÍA DE DIMENSIONADO.....	59
4.2 ANÁLISIS AMBIENTAL.....	60
4.2.1 IMPACTO AMBIENTAL RELACIONADO CON EL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	60
4.2.2 IMPACTO AMBIENTAL RELACIONADO CON LA FABRICACIÓN.....	60
5.1 RIESGOS EXISTENTES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN.....	62
5.1.1 RIESGOS LABORALES.....	62
5.1.2 PREVENCIÓN.....	62
5.1.3 LUGAR DE TRABAJO.....	63
5.1.4 OTRAS CONSIDERACIONES.....	64
6 MEDICIONES.....	65
7 PRESUPUESTO.....	67
8 ESTUDIO ECONÓMICO.....	71

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 3 de 73

1 EXPEDIENTE Y AUTOR DEL ENCARGO

1.1 EXPEDIENTE

Referencia: SOL0614

Descripción: Instalación de 10,5 KWn

Fecha: 01/12/06

Dirección: EUITT Carretera de Valencia Km 7

Localidad: Madrid

Proyectado por: Félix Jiménez

1.2 AUTOR DEL ENCARGO

Propietario: EUITT-UPM

CIF: Q2818015F

Dirección: Carretera de Valencia Km 7

Localidad: Madrid (Madrid)

Código postal: 28031

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 4 de 73

1.3 OBJETIVO.

El objetivo del presente proyecto es la instalación de un sistema fotovoltaico de conexión a red con una potencia nominal de 10.5KW y venta de la energía generada a la compañía distribuidora en virtud del RD 2818/98 sobre la producción de energía eléctrica a partir de energías renovables y el RD 436/2000 que establece la metodología para la actuación y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de la energía eléctrica en régimen especial, cumpliendo con el REBT.

La instalación pertenecerá a un único propietario y al ser inferior a 100Kw nominales se podrá acoger a la prima mas favorable del RD vigente.

1.4 AUTOR DEL PROYECTO.

El presente proyecto ha sido realizado por el Ingeniero Técnico de Telecomunicación D. Félix Jiménez, perteneciente a la empresa SOLECTEL S.L. con CIF:XXXXXXXXX. Colegiado número XXXX en el Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos de Telecomunicación.

1.5 UBICACIÓN DE LA INSTALACIÓN.

La planta fotovoltaica en este caso estará en la misma dirección del autor del encargo.

Se situará en la cubierta del Bloque VIII de la EUITT de Telecomunicación, dentro del Campus de la UPM, con unos datos geográficos de -3.6º longitud Oeste y 40.4º de latitud Norte (mayor aclaración en planos y fotografías anejas).

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 5 de 73

2 MEMORIA

2.1 INTRODUCCIÓN A UNA INSTALACIÓN CONECTADA A RED

Los sistemas de conexión a la red eléctrica podemos decir que constituyen una de las aplicaciones que actualmente han experimentado una mayor expansión en el campo de las actividades fotovoltaica durante los últimos años. De hecho, el aumento y la extensión a gran escala de este tipo de aplicaciones ha requerido el desarrollo de una ingeniería específica que permita, optimizar el diseño y funcionamiento tanto de productos como de instalaciones completas, lo que incluye el desarrollo de nuevos productos con los conocimientos adquiridos y, el poder evaluar su impacto en el conjunto del sistema eléctrico, siempre cuidando la integración de los sistemas y respetando el entorno arquitectónico y ambiental.

Según se establece en el Real Decreto 2818/1998, del 23 de Diciembre, publicado en el BOE núm. 312 del 30 diciembre 1998, permite en España que cualquier interesado pueda convertirse en productor de electricidad a partir de la energía solar. A partir de este momento el desarrollo sostenible puede verse impulsado desde las iniciativas particulares que aprovechando el recurso solar pueden contribuir a una producción de energía de manera más limpia. Ahora, el ciudadano en su vivienda unifamiliar, la comunidad de vecinos, las empresas u otras entidades que lo deseen podrán disponer de su instalación solar conectada a la red eléctrica.

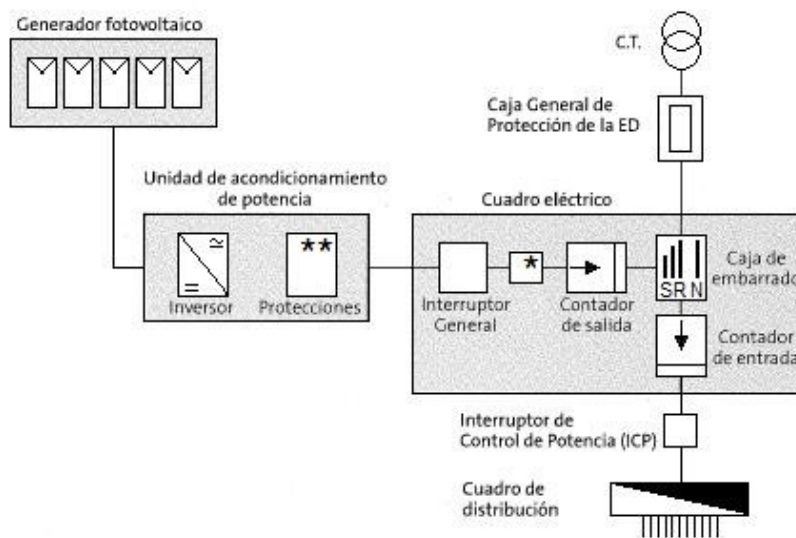
SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 6 de 73

2.2 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE CONEXIÓN A RED

2.2.1 DESCRIPCIÓN DEL ESQUEMA UNIFILAR TIPO.

Según establece la legislación vigente, los aspectos mínimos que debe cumplir una instalación fotovoltaica conectada a red son los que a continuación se enumeran:

- La instalación se ha de realizar de acuerdo con el siguiente esquema unifilar:



- Las instalaciones fotovoltaicas no podrán diseñarse con acumuladores y/o equipos de consumo de energía intermedios entre el campo de módulos fotovoltaicos y la red de distribución de la compañía.
- Si la suma de potencia nominal de los inversores es superior a 5Kw la conexión será trifásica.
- La variación de tensión provocada por la conexión y desconexión de la instalación a la red será inferior al 5%. Además no deberá afectar a ningún otro usuario en los límites establecidos en el REBT.
- Se procurará que el factor de potencia sea lo mas próximo a la unidad.
- Se dispondrá de un contador de energía de salida y otro de entrada de energía o uno bidireccional. Todos ellos serán de clase 2 y precintados. La corriente nominal de salida de los inversores ha de estar comprendida entre el 50% de la corriente nominal y la corriente

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 7 de 73

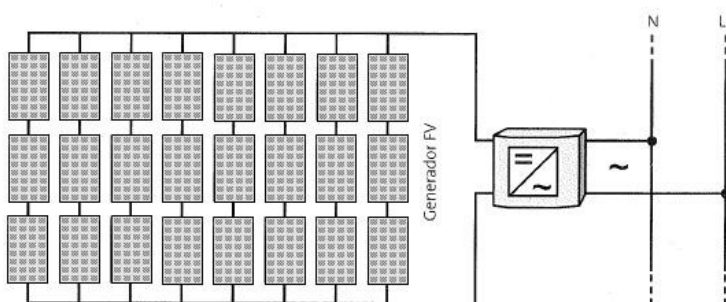
máxima de precisión del contador.

- Las protecciones a instalar entre el inversor y la red de la compañía han de ser las siguientes:
 - Interruptor magnetotérmico en el punto de conexión, accesible a la E.D.
 - Interruptor automático de la interconexión con relé de enclavamiento, estos accionado por variación de tensión y de frecuencia.
 - El rearme de la conexión instalación fotovoltaica-red han de ser automático.
 - Los inversores han de cumplir los niveles de emisión e inmunidad frente a armónicos y compatibilidad electromagnética de acuerdo a la legislación.
 - Las tomas de tierra de la instalación fotovoltaica serán independientes de la del neutro de la E.D. y de las masas de la edificación.

2.2.2 TECNOLOGÍAS PREDOMINANTES DE INVERSORES.

- Configuración de inversor centralizado:

Quando tenemos un único campo fotovoltaico con pocas sombras y unas condiciones de funcionamiento suficientemente homogéneas en todos sus elementos, podemos conectar todos los módulos a un mismo inversor. Se conectarían los módulos en serie constituyendo ramales, que posteriormente conectaríamos en paralelo para completar el generador fotovoltaico.



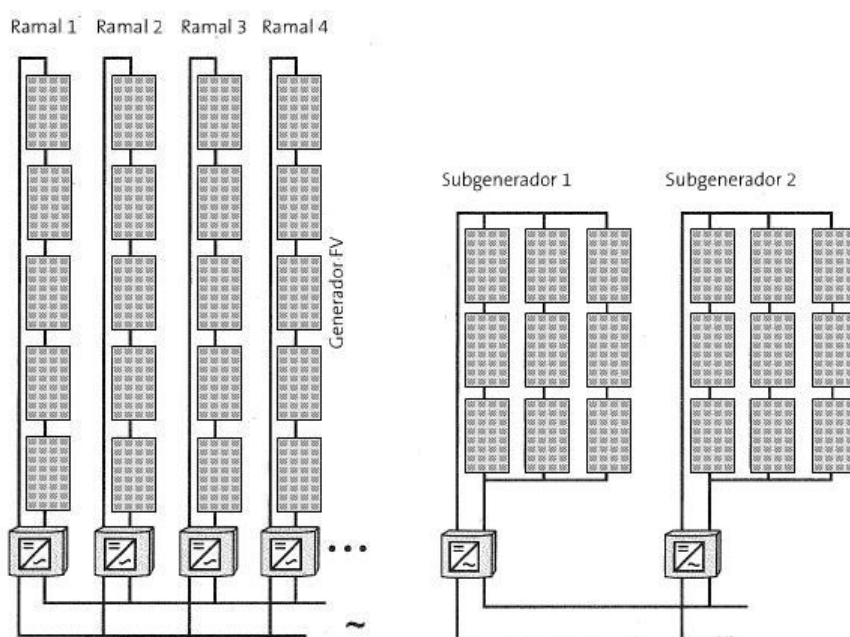
Como ventajas presenta la gran eficiencia y fiabilidad, así como menor coste para instalaciones grandes (mas de 50KW) frente a inversores más pequeños.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614 Autor: Félix Jiménez	Página 8 de 73

Como desventajas presenta que si se deja de funcionar se para toda la instalación y la necesidad de un recinto adecuado, bien ventilado y de acceso restringido. Por otro lado su gran peso (del orden de 190 Kg para los más pequeños de 10KW) lo hace inadecuado para ser instalado en lugares elevados, como cubierta o plantas superiores de edificios.

- Configuración de inversor por ramal:

En una instalación en la que existen partes del generador fotovoltaico con diferentes orientaciones y/o inclinaciones, o en el caso de sombras inevitables, se pueden disminuir considerablemente las pérdidas en la instalación fotovoltaica por estos efectos si cada una de estas partes del generador fotovoltaico, con una misma orientación e inclinación, está conectada directamente a un inversor específico. De esta forma se consigue que todos los módulos que van conectados a un inversor reciban en cada momento el mismo nivel de irradiación.



Inversor por ramal

Inversor por subcampos

Mediante el uso de inversores por ramal la instalación fotovoltaica se simplifica y por ello los costes de montaje disminuyen considerablemente. Los inversores se colocan normalmente inmediatamente después del generador fotovoltaico todos ellos conectados en paralelo.

Presentan las siguientes ventajas:

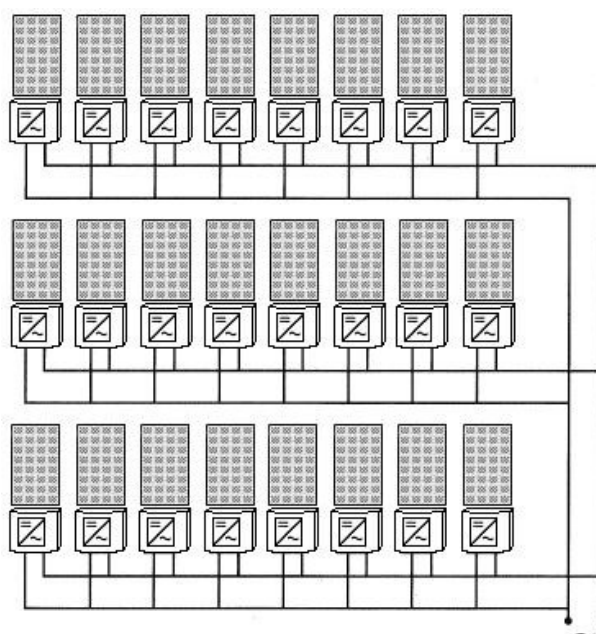
- Supresión de la caja de conexiones del generador fotovoltaico

<p>SOLECTEL S.L.</p>	<p>PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"</p>	<p>14/01/07</p>	
<p></p>	<p>Cod: SOL0614</p>	<p>Autor: Félix Jiménez</p>	<p>Página 9 de 73</p>

- Reducción del cableado de los módulos y supresión de la conducción principal de corriente continua.
- Reducción de costes asociada a los dos aspectos anteriores.

- Configuración de inversor en módulo:

Esta configuración consiste en instalar un pequeño inversor independiente a cada uno de los módulos fotovoltaicos que componen la instalación. Con ello se consigue que cada uno de los módulos fotovoltaicos trabaje en su punto de máxima potencia y la instalación se puede ampliar de manera muy sencilla. El inconveniente de este tipo de instalación es su mayor coste, además de un menor rendimiento de estos inversores respecto a los de mayor dimensión, pero que se compensa con un mejor rendimiento de los módulos fotovoltaicos.



- Ubicación del inversor, protecciones y contadores:

Las distancias entre el generador fotovoltaico, inversor y contadores deben ser lo más cortas posibles con el objeto de minimizar los costes y las pérdidas de energía en el cableado.

Es preferible que el inversor esté situado en el interior, en un lugar lo más protegido de las condiciones ambientales desfavorables como la lluvia, nieve, viento, ...

Las protecciones a la salida del inversor así como los contadores, deben estar en un lugar accesible por el personal de la compañía distribuidora para poder leer los contadores y accionar las protecciones en caso de emergencia.

<p>SOLECTEL S.L.</p>	<p>PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"</p>	<p>14/01/07</p>	
	<p>Cod: SOL0614</p>	<p>Autor: Félix Jiménez</p>	<p>Página 10 de 73</p>

2.2.3 TECNOLOGIA DE INVERSOR ELEGIDA

Elegimos una tecnología en subcampos por la flexibilidad que ofrece y la sencillez de instalación en la cubierta de edificios, además de ocupar menos espacio que la configuración centralizada.

2.3 LEGISLACIÓN APLICABLE:

La legislación a tener en cuenta en el siguiente proyecto será

.-Real Decreto 1663/2000 de 29/09/2000, ELECTRICIDAD. Conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión Órgano emisor: Ministerio economía. BOE: 30/09/2000

.-Real Decreto 436/2004 de 12/03/2004, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial Órgano emisor: Ministerio de economía. BOE: 27/03/2004

.-Resolución de 31/05/2001, ELECTRICIDAD. Establece modelo de contrato tipo y modelo de factura para instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión. Órgano emisor: Dirección general política energética y minas. BOE: 21/06/2001

.-Sentencia de 02/04/2001, ELECTRICIDAD. Anula los dos últimos párrafos de la disposición transitoria primera del Real Decreto 2818/1998, de 23-12-1998, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración . Órgano emisor: Tribunal supremo. BOE: 21/05/2001

.-Real Decreto-ley 6/2000 de 23/06/2000, POLÍTICA ECONÓMICA. Medidas Urgentes de Intensificación de la Competencia en Mercados de Bienes y Servicios. Órgano emisor: Jefatura del estado. BOE: 24/06/2000.

.-Real Decreto 1955/2000 de 01/12/2000, ELECTRICIDAD. Regula las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. Órgano emisor: Ministerio de economía. BOE: 27/12/2000

.-Real Decreto 842/2002 de 02/08/2002, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para baja tensión. Órgano emisor: Ministerio de ciencia y tecnología. BOE: 18/09/2002

.-Normativa de la comunidad autónoma correspondiente.

.-Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales y reglamentos de aplicación. Órgano emisor: Ministerio de ciencia y tecnología. BOE: 10/11/1995.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614 Autor: Félix Jiménez	Página 11 de 73

.-REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Órgano emisor: Ministerio de vivienda. BOE:28/03/2006

.-Normas UNE de aplicación

.- Norma de Instalaciones Fotovoltaicas conectadas a la Red de Baja Tensión de UNIÓN FENOSA.

Otros documentos de aplicación:

.-Pliego de condiciones técnicas de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red IDAE octubre 2002.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 12 de 73

2.4 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA

En el presente apartado se describen las características básicas del sistema constituido por varios subcampos fotovoltaicos. La forma de interconexión se explica el plano donde figura el esquema unificar de la instalación.

Localización	
Localidad:	MADRID
Latitud:	40,40°

GENERADORES FOTOVOLTAICOS:

Generador fotovoltaico 1 de 3,8kwp [18]			
Módulo:	Conergy E175P	Acimut (α°):	-10,00
Número de Módulos en serie:	11	Inclinación (β°):	30,00
Número Módulos:	22	Número de ramales en paralelo:	2
Área generador (m ²):	30,55	Potencia generador (kWp):	3,85

Generador fotovoltaico 2 (3,8 Kwp) [26]			
Módulo:	Conergy E175P	Acimut (α°):	-10,00
Número de Módulos en serie:	11	Inclinación (β°):	30,00
Número Módulos:	22	Número de ramales en paralelo:	2
Área generador (m ²):	30,55	Potencia generador (kWp):	3,85

Generador fotovoltaico 3 (3,8kwp) [34]			
Módulo:	Conergy E175P	Acimut (α°):	-10,00
Número de Módulos en serie:	11	Inclinación (β°):	30,00
Número Módulos:	22	Número de ramales en paralelo:	2
Área generador (m ²):	30,55	Potencia generador (kWp):	3,85

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614 Autor: Félix Jiménez	Página 13 de 73

INVERSORES:

Inversor 1			
Inversor:	Conergy WR4600	Potencia nominal AC (kW):	3,50
Tipo conexión:	Monofásica	Potencia AC (kW):	3,47

Inverso 2			
Inversor:	Conergy WR4600	Potencia nominal AC (kW):	3,50
Tipo conexión:	Monofásica	Potencia AC (kW):	3,47

Inversor 3			
Inversor:	Conergy WR4600	Potencia nominal AC (kW):	3,50
Tipo conexión:	Monofásica	Potencia AC (kW):	3,47

RESUMEN DEL SISTEMA:

Total sistema:			
Número total de Módulo:	66	Número total inversores:	3
Potencia total del G.F. (kWp):	11,55	Potencia del sistema (kW):	10,50
Área total (m ²):	91,65	Coseno de φ :	0,97

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 14 de 73

2.5 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.

En el siguiente apartado de la memoria, se pretende describir los diferentes equipos que componen la instalación, subdivididos en los apartado que a continuación se detallan.

2.5.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Los módulos fotovoltaicos que se pretenden instalar en presente proyecto deberán de cumplir los siguientes requisitos básicos:

1. Han de estar diseñados y contruidos de forma que cumplan toda la normativa vigente de homologación.
2. El módulo fotovoltaico deberá superar toda la normativa vigente en Europa aplicable a los mismos y estar correctamente homologado. (IEC61215 , EN 61000 6-1, EN 61000 6-3, EN 50178 (1995), IEC 61140 (2002), 60664 (2003) y TÜV clase II)
3. Se procurará que la relación Precio/Wp sea lo más baja posible.
4. Características eléctricas adecuadas: La tensión de máxima potencia, de circuito abierto, corriente de cortocircuito, máxima potencia y pico sean lo más similar posible, procurando que se cumpla una tolerancia de estos parámetros de unos $\pm 3\%$ para grandes instalaciones y un $\pm 5\%$ para pequeñas.
5. TONC lo más bajo posible
6. Facilidad de interconexión de módulos
7. Facilidad de fijación del módulo a estructura soporte

Teniendo en cuenta los requisitos anteriores, se ha decidido crear 3 generadores fotovoltaicos, para los cuales emplearemos los siguientes tipos de módulos fotovoltaicos:

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 15 de 73

Especificaciones generales			
Modelo:	Conergy E175P +/- 3%		
Fabricante:	Conergy		
Tipo de célula:	policristalinas		
Nº células paralelo:	1	Nº células serie:	50
Especificaciones eléctricas			
Tensión Nominal (V):	24,00	Potencia máxima (Wp):	175,00
Corriente de cortocircuito (A):	7,80	Tensión a circuito abierto (V):	30,70
Corriente a máxima potencia (A):	7,21	Tensión a máxima potencia (V):	24,30
Características constructivas			
Alto (mm):	1.669,00	Ancho (mm):	832,00
Peso (Kg):	19,00	Nº de cajas de empalme:	ND

2.5.2 INVERSORES.

El funcionamiento de los inversores propuestos es el siguiente: trabajan conectados por su lado DC a un generador fotovoltaico, y por su lado AC a un transformador que adapta la tensión de salida del inversor a la red. Este transformador permite además el aislamiento galvánico entre la parte DC y la AC.

Los inversores que se pretenden instalar en presente proyecto deberán de cumplir los siguientes requisitos básico:

1. Han de estar diseñados y contruidos de forma que cumplan toda la normativa vigente de homologación.
2. El inversor deberá superar toda la normativa vigente en Europa aplicable a los mismos y estar correctamente homologado. (EMC: EN61000-6-1, EN61000-6-3, EN61000-3-2, EN61000-3-3, EN50178)
3. Permitir la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, evitando el funcionamiento en isla, con lo cual se garantiza la seguridad de los operario de la compañía distribuidora
4. Deberá actuar como controlador permanente de aislamiento para la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de resistencia de aislamiento.

Teniendo en cuenta los requisitos anteriores, se ha decidido emplear 3 inversores empleando los siguientes tipos:

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614 Autor: Félix Jiménez	Página 16 de 73

Especificaciones generales			
Modelo:	Conergy WR4600		
Fabricante:	Conergy		
Especificaciones eléctricas			
Potencia Nominal (W):	3.500,00	Potencia máxima (W):	4.100,0
Tensión DC mínima SPMP(V):	140,00	Tensión DC máxima SPMP(V):	400,00
		Tensión máxima absoluta (V)	500,00
Tensión AC nominal (V):	230,00	Factor de potencia ajustable	1
Rendimiento (%)	93,50	Tipo de salida	Monofásica
Especificaciones constructivas			
Largo (mm):	366,00	Ancho (mm):	334,00
Peso (Kg):	16,00	Alto (mm):	220,00

2.6 CONTADORES ,PROTECCIONES Y CONEXIÓN A LA RED DE BAJA TENSION.

La instalación ha de contar con los requisitos que se exigen y están expuestos en el Real Decreto 1663/2000 de 29/09/2000, sobre "Conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión", siendo su órgano emisor el Ministerio economía y publicado en el BOE del 30/09/2000, así como con la propuesta de seguridad del pliego técnico que nos ocupa y deberá de contar con los siguientes elementos de protección:

- 1. La instalación debe disponer de una separación galvánica** entre la red de distribución de la compañía y la instalación fotovoltaica por medio de un transformador de seguridad que cumpla la Norma UNE 60742. Por esta razón si el método de separación galvánica no es mediante transformador de baja frecuencia, método que se supone que lo cumple por diseño, el inversor debe presentar el correspondiente certificado en que se asegure que el método que emplea cumpla la misma función.
- 2. Interruptor general manual**, interruptor magnetotérmico omnipolar con intensidad de cortocircuito de acuerdo a las indicaciones de la empresa distribuidora en el punto de conexión. Este interruptor ha de poder ser accesible a la empresa distribuidora en todo momento, con objeto de poder realizar la desconexión manual. Asimismo, este interruptor deberá poder ser bloqueado por la compañía a fin de garantizar la desconexión de la instalación fotovoltaica en caso necesario.
- 3. Interruptor automático diferencial.** Con las características adecuadas para proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento.
- 4. Interruptor automático de interconexión:** interruptor omnipolar para la

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614 Autor: Félix Jiménez	Página 17 de 73

desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de salida de los márgenes de seguridad de tensión o frecuencia de la red, accionado por relés de máxima y mínima tensión y de máxima y mínima frecuencia. Cuando el inversor incluya estas protecciones, éste deberá cumplir:

- a. Las estas funciones serán realizadas mediante un contactor con rearme automático tras el restablecimiento de las condiciones normales.
- b. El contactor gobernado por el inversor podrá ser activado manualmente.
- c. El estado del contactor (on/off) deberá señalizarse con claridad en el frontal del equipo, en lugar destacado.
- d. En caso de no usar protecciones precintables para la interconexión mencionada el fabricante del inversor deberá certificar: los valores de tara de tensión, los valores de tara de frecuencia, el tipo y características del equipo utilizado internamente para la detección de fallos (modelo, marca, calibración, etc) y que el inversor ha superado las pruebas correspondientes en cuanto a los límites establecidos en tensión y frecuencia.

5. **Puesta a tierra del marco de los módulos y de la estructura** siguiendo la normativa vigente en este tipo de instalaciones, tal que esta puesta a tierra no altere las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora.

6. **Aislamiento clase II** en todos los componentes: módulos, cableado, cajas de conexión, protecciones, etc.

Estas protecciones, una vez comprobadas, deben quedar precintadas por la compañía distribuidora y, por su parte, el rearme del sistema de conmutación y, por tanto, de la conexión con la red de baja tensión de la instalación fotovoltaica, será automático una vez restablecida la tensión por la compañía distribuidora.

Además de estas protecciones debe instalarse un equipo de medida de energía eléctrica de las siguientes características, que estarán ubicados en los siguientes módulos:

- a) **Módulo de salida:** Contiene el conjunto de elementos para la medida de la energía neta (salida-entrada) producida por la instalación fotovoltaica. Este módulo deberá poder medir en los dos sentidos y en su defecto se colocará otro contador entre el contador de salida y el interruptor general manual, con capacidad de poder medir la energía consumida por los elementos de la instalación fotovoltaica.

Se instalará a la salida de la instalación fotovoltaica, lo más cerca posible de la acometida y se encontrará debidamente identificado. El módulo de salida no estará dotado en ningún

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 18 de 73

caso de fusibles.

Este será de tipo armario para su instalación en intemperie o de doble aislamiento para su instalación en interior.

- b) **Módulo de entrada:** Contiene el conjunto de elementos para la medida, en su caso, del consumo del suministro que pudiera haber en el mismo emplazamiento de la instalación fotovoltaica, distinto del consumo que pudiera tener los elementos que constituyen la instalación fotovoltaica propiamente dicha.

Por otro lado se ha de cumplir el REBT junto con las normas de instalación de la compañía distribuidora, UNIÓN FENOSA (UF) en este caso, por lo que hay que seguir las siguientes indicaciones y recomendaciones **añadidas** sobre el RD anterior:

1. La instalación de la Caja General de Protección (CGP) y Medida se realizará según lo establecido en ITC-BT-13, Norma de instalación de UNIÓN FENOSA y Normas particulares de Enlace en Baja Tensión. En el punto 2 de ITC-BT-13 "Cajas de Protección y Medida", se considera la posibilidad de simplificar la instalación colocando un único elemento, para CGP y medida.
2. Cuando los edificios alberguen en su interior un Centro de Transformación se deberá instalar una CGP con fusibles independientes de los cuadros de BT.
3. La instalación de los dispositivos de mando y protección se realizará según lo establecido en la ITC-BT-17 "Dispositivos generales e individuales de mando y protección".
4. Indicaciones sobre las protecciones:
 - a. El interruptor general manual deberá tener una intensidad de cortocircuito superior a la de la red en el punto de conexión.
 - b. Se debe añadir fusibles, aparte de los de la CGP, a fin de poder realizar un corte visible y poder aislar la instalación de generación, en el mismo armario de medida.
5. Desde el circuito de generación hasta el equipo de medida no puede intercalarse ningún elemento de generación distinto al fotovoltaico, ni de acumulación o consumo. Por tanto los cables de dicho circuito irán protegidos bajo tubo inspeccionable en todo su recorrido. Solo en el caso en que la instalación no se

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 19 de 73

pueda realizar de forma perfectamente revisable e inspeccionable, se deberán dejar previstos cuantos módulos sean necesarios a la salida del inversor del lado CA a fin de poder instalar los contadores de contraste.

6. Las puestas a tierra deberán seguir la Norma de Instalaciones de UF, aplicándose para su ejecución la ITC-BT-18.
7. A fin de aumentar el grado de seguridad en este tipo de instalaciones se recomienda la instalación de los siguientes elementos en el cuadro de protecciones del inversor (lado de CA):
 - a. Interruptor automático magnetotérmico general.
 - b. Interruptor automático diferencial
 - c. Interruptor automático magnetotérmico para cada salida de CA de cada inversor.
8. El sistema de medición se ajustará al tipo de conexión realizado a través de un suministro al cliente conectado a la red de UF en Media o Alta Tensión (MT y AT) mediante transformador elevador. En este caso el contador de salida de la instalación fotovoltaica dispondrá de la misma discriminación horaria que el contador de entrada al suministro de MT o AT. El contador de entrada de la instalación fotovoltaica solo requerirá de la totalización de la energía activa.

Además de las protecciones y consideraciones mencionadas, se tendrá en cuenta en la instalación los siguientes puntos adicionales con objeto de optimizar la eficiencia energética y garantizar la absoluta seguridad del personal:

1. La sección de todos los conductores será la suficiente para asegurar que las pérdidas de tensión en cables y cajas de conexión sean igual o inferior a los valores especificados en los datos generales del proyecto de la tensión de trabajo del sistema en cualquier condición de operación (ΔV entre paneles 0,20% + ΔV entre paneles e inversor 0,80% + ΔV entre inversor y resto de la red 0,50%), cumpliéndose lo dispuesto en la ITC-BT-40 en su apartado 5 donde se limita la caída de tensión desde el generador fotovoltaico al punto de conexión a un 1.5%

2. Todos los cables han de ser adecuados para uso en intemperie, al aire o enterrado, según proceda. Para los tramos de CC además deberá ser de doble aislamiento y ser canalizado por tubos separandos el polo positivo del negativo.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 20 de 73

2.7 DESCRIPCIÓN GENERAL .

2.7.1 INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA.

La planta fotovoltaica se integrará en el edificio sobre su cubierta plana, mediante estructuras fijas sujetas a dados de hormigón que ofrezcan suficiente protección contra el vuelco debido al viento que sople en la dirección más desfavorable, así como sobrecarga de nieve y el propio de la suma módulos-estructura, de acuerdo al documento DB-SE-AE del CTE, que sustituye a la NBE-AE-88. También se tiene en cuenta que estas estructuras no transmitan tensiones perjudiciales para los módulos fotovoltaicos, para la cubierta o para ellas mismas.

La sujeción del módulo a la estructura se realizará mediante sistemas admitidos por el fabricante del mismo, para que no se produzcan flexiones superiores a las admitidas.

La estructura estará protegida contra las acciones medioambientales, según las normas UNE-37-501 y UNE-37-508.

La tornillería y las piezas de montaje serán de acero inoxidable.

Los módulos fotovoltaicos se dispondrán en hileras o ramas, separados unos de otros la distancia adecuada para minimizar los efectos de las sombras entre ellos.

2.7.2 DESCRIPCIÓN DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.

El generador fotovoltaico está constituido por tres sistemas conectados en paralelo de 3.5 Kw nominales cada uno, combinados a su salida para conformar un sistema de 10.5 kw nominales en conexión trifásica.

Cada subsistema se compone de un inversor de 3.5 KW nominales y dos ramas de módulos fotovoltaicos con un total de 22 módulos. Los módulos se conectarán entre si mediante cable de doble aislamiento.

Se juntarán las ramas en una caja de conexiones a partir de la cual se llevarán por tubo rígido de acero, separando el polo positivo del negativo, hasta llegar al inversor situado en el interior de la caseta que aloja el final para la escalera de servicio a la azotea del edificio.

Las estructuras, marcos de los módulos y las carcasas de los inversores deben ir conectas a un cable de protección que conecte todas estas masas a tierra con las condiciones establecidas en el RD1663/2000 y expuestas anteriormente

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez
		Página 21 de 73

2.7.3 DESCRIPCIÓN DE LA LINEA DE CONEXIÓN.

Tras los inversores se colocará un armario que incorpore las protecciones de cada uno de los inversores y el bornero de conexiones para conformar la red trifásica. Estas protecciones estarán constituidas por un interruptor magneto-térmico de corte bipolar a la salida de los inversores , así como la correspondiente protección contra sobretensiones, tras ellos y una vez conformada la línea trifásica, se colocará un interruptor automático diferencial e interruptor automático magneto-térmico de corte tetrapolar, así como la correspondiente protección contra sobretensiones.

La bajada hasta la planta baja se realizará aprovechando el hueco de la escalera mediante un cable tetrapolar de sección correspondiente y un conductor aislado de protección bajo un tubo rígido curvable y de acero en las partes accesibles a menos de 2.5 metros de altura.

En el cuarto de contadores se instalará un armario alojando los contadores de salida y entrada así como el interruptor general manual, grupo de tres fusibles con seccionador de neutro, interruptor automático diferencial, accesibles solo por la empresa distribuidora.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 22 de 73

3 CÁLCULOS

En el siguiente apartado de la memoria, se pretende describir los diferentes apartados de cálculo con los que se justifica la instalación, subdivididos en los apartados que a continuación se detallan.

3.1 CÁLCULO DE COMPROBACIÓN DEL GENERADOR FV (MÓDULOS vs. INVERSOR).

En este apartado se comprueba que los límites de tensiones, corrientes y potencia que soporta el inversor no se ven sobrepasados por el subcampo fotovoltaico que los alimenta, bajo las condiciones más desfavorables de funcionamiento.

DATOS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Tensión de circuito abierto a 25 °C, Voc (V):	30.7
Tensión de máxima potencia a 25 °C, Vmpp (V):	24.3
Corriente de máxima potencia a 25 °C, impp (A):	7.21
Variación de Voc con la temperatura:	- 0.338 <input type="radio"/> mV/K <input checked="" type="radio"/> %/K
Variación de Vmpp con la temperatura:	- 0.338 <input type="radio"/> mV/K <input checked="" type="radio"/> %/K
Variación de impp con la temperatura:	4 <input checked="" type="radio"/> mA/K <input type="radio"/> %/K
Variación de potencia con la temperatura:	- 0.43 <input type="radio"/> W/K <input checked="" type="radio"/> %/K
Temperatura mínima de operación, Tmín (°C):	10 <input checked="" type="checkbox"/> Bajo cero
Temperatura máxima de operación, Tmáx (°C):	50
DATOS DEL INVERSOR DE CONEXIÓN A RED	RESULTADOS DEL GENERADOR FV
Potencia nominal, Pnom (W):	Potencia máxima, a Tmín (W): 4435
Potencia máxima de entrada fotovoltaica, Pmáx (W):	Tensión Voc máxima, a Tmín (V): 377.6
Tensión máxima de entrada fotovoltaica, Vmáx (V):	Tensión Vmpp máxima, a Tmín (V): 298.9
Corriente máxima de entrada fotovoltaica, imáx (A):	Tensión Vmpp mínima, a Tmáx (V): 244.7
Tensión máxima de máxima potencia, MPPmáx (V):	Corriente impp máxima, a Tmáx (A): 14.6
Tensión mínima de máxima potencia, MPPmín (V):	Potencia FV / Potencia INV: (en condiciones nominales) 1.10
CONFIGURACIÓN DEL GENERADOR FV	
Número de módulos en serie por circuito, Ns:	11 (entre 6 y 14)
Número de circuitos o ramas en paralelo, Np:	2 (entre 1 y 4)

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 23 de 73

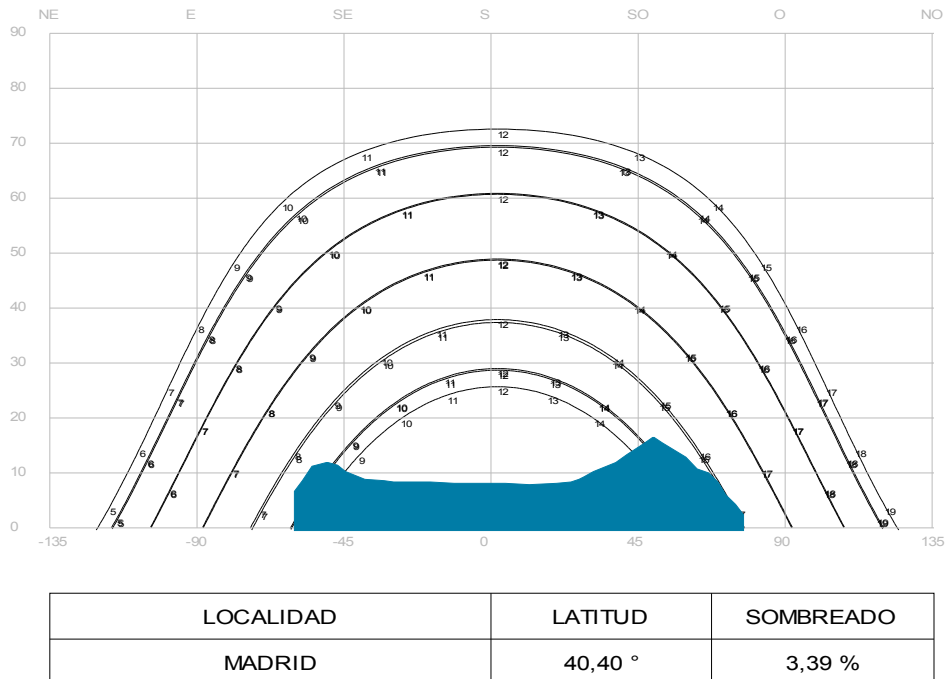
3.2 CÁLCULO DE PERDIDAS POR SOMBREADO

El presente apartado tiene la función de la comprobación del cumplimiento o no del apartado del CTE referente a los límites de pérdida a consecuencia de la sombra producida sobre los módulos fotovoltaicos por objetos, edificios, ... o entre ellos, de acuerdo con los valores máximos establecidos en el CTE.

Estos valores límites se muestran en la tabla siguiente:

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Para la justificación de este cálculo, se ha analizado el diagrama de trayectorias solares para una latitud de 40,40° donde se encuentra la localidad: MADRID.



Una vez se ha consultado y analizado el diagrama y a partir de él, podemos obtener el valor del sombreado sobre la superficie de los módulos fotovoltaico que será de un 3,39 %. Por tanto podemos afirmar que nuestra instalación **CUMPLE** en lo referente a las exigencias sobre las pérdidas en concepto de sombreado, ya que el valor máximo exigido por la norma para una disposición como la nuestra (General) es de un 10,00 %.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 24 de 73

3.3 CÁLCULO DE PERDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

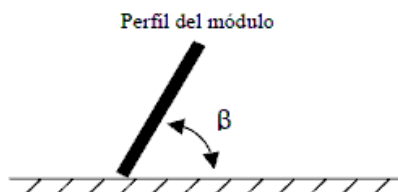
El presente apartado tiene la función de la comprobación del cumplimiento o no del apartado del CTE referente a los límites de pérdida a consecuencia de la orientación e inclinación de los módulos, de acuerdo con los valores máximos establecidos en el CTE

Estos valores límites se muestran en la tabla siguiente:

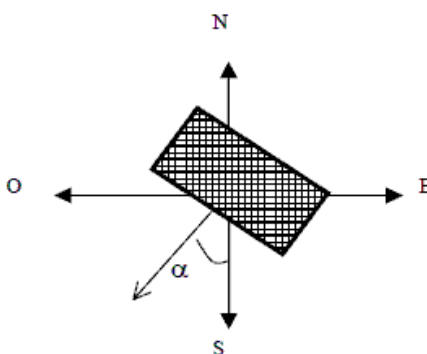
Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:

- Ángulo de inclinación β , definido como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal



- Ángulo de Acimut α , definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. (0° para módulos orientados al sur y -90 para orientados al este y +90 al oeste)



SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 25 de 73

Mediante las expresiones siguientes, podemos obtener el valor de la pérdida:

$$P\acute{e}rdida (\%) = 100 \times \left[1,2 \times 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \times 10^{-5} \cdot \alpha^2 \right] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$P\acute{e}rdida (\%) = 100 \times \left[1,2 \times 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 \right] \quad \text{para } \beta \leq 90^\circ$$

Los resultados obtenidos para nuestro caso son los mostrados en la tabla siguiente:

Concepto	Valor	
Inclinación respecto a la horizontal (°):	30,00	
Latitud (°):	40,40	
Acimut (°):	-10,00	
Perdida actual (%)	0,35	
Angulo inicial / Final para una perdida < 10 %	3,00	58,00
Angulo inicial / Final para una perdida < 20 %	0,00	70,00
Angulo inicial / Final para una perdida < 40 %	0,00	87,00

Como conclusión y a la vista de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta el tipo de disposición de los módulos fotovoltaicos (General) y las exigencias respecto a ella (pérdida no superior a 10,00 %). Podemos afirmar que nuestra instalación **CUMPLE** en lo referente a las exigencias sobre las pérdidas en concepto de orientación e inclinación, con un valor de 0,35%.

También **CUMPLE** con la suma de las dos pérdidas.

$$(3,39\% + 0,35\%) = 3,74\% < 15\%$$

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 26 de 73

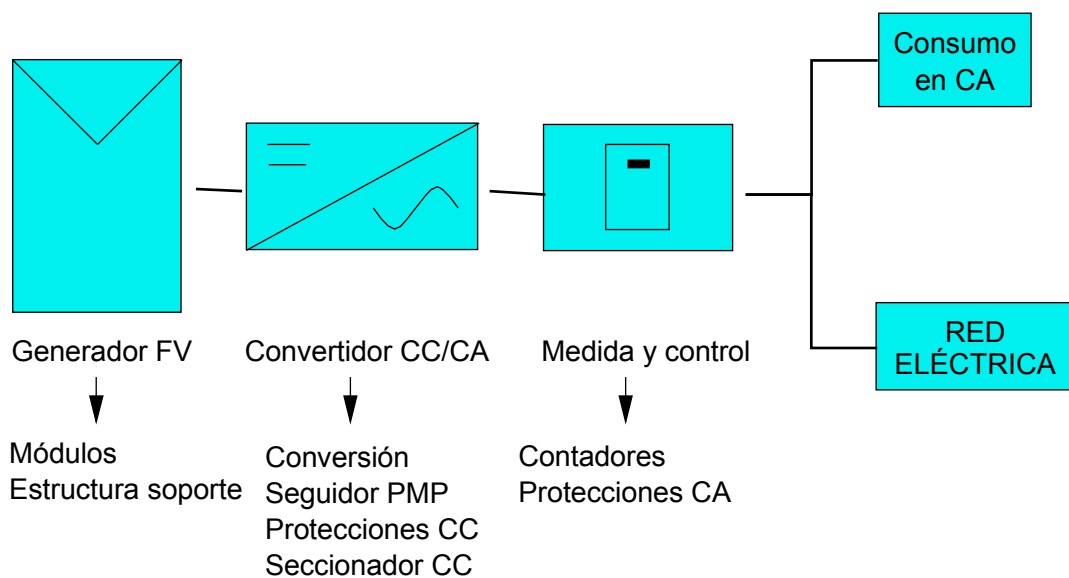
3.4 CÁLCULO ENERGÉTICO-ECONÓMICO.

Para dimensionado de la instalación fotovoltaica utilizamos el método ofrecido por el IES-UPM, tomando como datos de radiación los ofrecidos por la base de datos H-WORLD, para lo cual se describe el método usado.

3.4.1 TEORÍA DE CÁLCULO.

La descripción del sistema para su estudio lo basamos en el siguiente diagrama de bloques genérico de un sistema fotovoltaico conectado a red (SFCR).

Diagrama de bloques en un SFCR



Para valorar el comportamiento del sistema el método de cálculo define unos parámetros de mérito que permiten comparar sistemas y su grado de acercamiento al sistema un ideal.

3.4.1.1 PARÁMETROS DE MÉRITO.

- Productividad del generador. YA (Array yield)

$$Y_A = \frac{E_{GFV}}{P_{nomG}}$$

Es la energía producida por el generador en un año por unidad de potencia instalada. Tiene dimensiones de tiempo (KWh/KW=h)

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614 Autor: Félix Jiménez	Página 27 de 73

- Productividad del sistema, YF (Final Yield).

$$Y_F = \frac{E_{FV}}{P_{nomG}}$$

Energía útil producida por el sistema en un año por unidad de potencia instalada. Tiene dimensiones de tiempo (KWh/KW=h)

- Productividad de referencia, YR (Referenece Yield).

$$Y_R = \frac{G_{INC}}{I_{STC}}$$

Energía solar disponible en un año sobre una superficie inclinada por la intensidad de radiación a la que se caracterizan los módulos FV (ISTC=1000 W/m2). Tiene dimensiones de tiempo (KWh/KW=h), STC (Standard Test Conditions).

- Rendimiento Global, PR (Performace Ratio).

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R}$$

Energía útil producida en un año por el sistema por la que podría generar si no tuviésemos pérdidas. Es adimensional y suele expresarse en (%). Permite comparar instalaciones realizadas en lugares geográficos diferentes salvo por el efecto de la temperatura.

- Eficiencia de conversión, nEI.

$$\eta_{EI} = \frac{E_{FV}}{E_{GFV}} = \frac{Y_F}{Y_A} \neq \eta_I = \frac{P_{FV}}{P_{GFV}}$$

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 28 de 73

Balance energético en un año entre la energía que produce el generador FV a la entrada del inversor (C.C.) y la que entrega el sistema en el punto de conexión (C.A.). Es distinta a la instantánea que representa un balance de potencias.

- Eficiencia europea del inversor, nEI europeo.

$$\eta_{EI} = 0.03 \times \eta_{I(5\%)} + 0.06 \times \eta_{I(10\%)} + 0.13 \times \eta_{I(20\%)} + 0.1 \times \eta_{I(30\%)} + 0.48 \times \eta_{I(50\%)} + 0.2 \times \eta_{I(100\%)}$$

Balance energético en un año entre la energía que produce el generador FV a la entrada del inversor (C.C.) y la que entrega a la salida del inversor (C.A.). Es una media ponderada de los rendimientos instantáneos de potencia en el inversor correspondiente al perfil de radiación de Europa Central.

- Energía útil, EFV.

$$E_{FV} = P_{nomG} \times Y_R \times PR$$

Hay que tener en cuenta las variaciones con la temperatura de la PnomG. Esto lo tenemos en cuenta en el PR, así como la tolerancia y el envejecimiento.

- Tamaño relativo del inversor ,FDI.

$$F_{DI} = \frac{P_{maxI}}{P_{nomG}}$$

Relación Entre la potencia máxima que nos puede dar el inversor a su salida y la potencia nominal del generador fotovoltaico conectado a él.

El objetivo del dimensionado es calcular la potencia necesaria de generador FV y los inversores adecuados para inyectar a la red una determinada potencia nominal que será la potencia oficial de la instalación.

Como datos de partida necesitaremos:

1. Superficie disponible, orientación e inclinación posibles.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 29 de 73

2. Posibles sombras (para el cálculo del factor de sombras).

3. Radiación anual sobre superficie con inclinación y orientación de máxima captación (orientación Sur en hemisferio Norte e inclinación óptima). Es un parámetro que depende además de la situación geográfica y condiciones meteorológicas del lugar.

El procedimiento de Cálculo será:

1. Estimación de la energía útil del sistema con ubicación óptima (orientación de máxima captación).

2. Corrección por ubicación distinta a la óptima.

3. Corrección por factor de sombras.

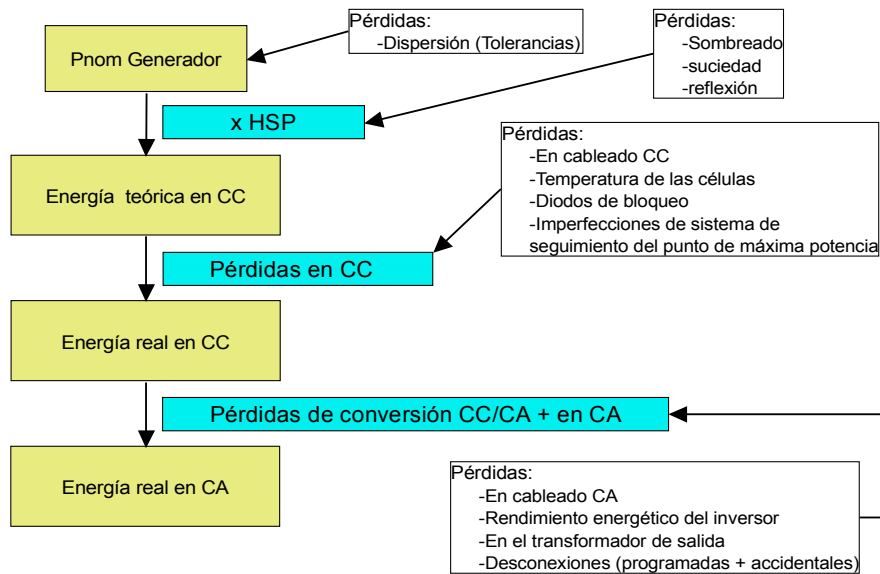
4. Calcular potencias nominales del generador fotovoltaico (suma de las potencias nominales de pico de los módulos fotovoltaicos) y superficie necesaria del generador.

5. Cálculo energético sobre la superficie del generador, así como los beneficios económicos y medioambientales.

La energía que podemos obtener en el punto de conexión a red se ve afectada por determinadas pérdidas que deben incluirse en el cálculo. Para ver en qué partes del sistema afectan y en qué partes del cálculo las incluimos podemos seguir siguiente diagrama para ver como llegamos al cálculo de la energía útil esperable.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 30 de 73

ENERGÍA ÚTIL ESPERABLE



La pérdidas se distribuyen en los siguientes parámetros:

<p style="text-align: center;"><u>Incluido en YR</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Suciedad 3% ● Reflexión 4% 	<p style="text-align: center;"><u>FS (Factor de sombras)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Sombras > 2%
<p style="text-align: center;"><u>PR</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Dispersión (3% - 6%) <ul style="list-style-type: none"> ● Indisponibilidad del sistema (0.5% - 2%) ● Por temperatura de los módulos diferente a la de caracterización (6% - 8%) ● Rendimiento del inversor + trafo salida (93%) <ul style="list-style-type: none"> ● Imperfección SPMP (0.5%-2%) ● Cableado CC + CA (1.5%) 	

En YR se incluyen por defecto unas pérdidas de un 7% debidas a que los módulos trabajan habitualmente con un grado medio de suciedad, así como que las pérdidas cuando el sol incide con ángulos respecto a la normal del plano de los módulos muy grandes éstas son superiores cuando estos están sucios.

El factor de sombras, salvo cuando todos los módulos del generador se encuentran en el mismo plano y en un entorno sin sombras, no es distinto de cero por que los módulos se dan algo de sombra entre ellos, tomando como solución de compromiso una distancia entre paneles que permita al menos 4 horas de sol en el peor día del año para todos los módulos fotovoltaicos, que

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614 Autor: Félix Jiménez	Página 31 de 73

lleva a un factor de sombras en torno a un 2% mínimo. De esta forma se obtiene un aprovechamiento razonable del terreno sobre el que remonta el generador del orden de 3 veces el área de módulos fotovoltaicos.

En el PR se incluyen el resto de los parámetros con unos márgenes entre los que podemos encontrar estas pérdidas.

Las fórmulas para calcular la energía útil que entregará nuestro Sistema Fotovoltaico Conectado a Red (SFCR) según el procedimiento de cálculo se presentan a continuación.

- Energía útil.

$$E_{FV} = P_{nomG} \times \frac{G_{INC}}{I_{STC}} \times PR \times (1 - FS)$$

Es la energía que entregará a la red en un año nuestro SFCR.

$$G_{INC} = G(\beta, \alpha)$$

Ginc es la irradiación anual por metro cuadrado sobre la superficie inclinada del generador fotovoltaico, con un ángulo del suelo beta y una desviación respecto al Sur alfa (al norte en el hemisferio Sur).

$$G(\beta, \alpha) = G(\beta_{opt}, \alpha_{opt}) \times FI$$

Ahora definimos la irradiación sobre nuestra superficie inclinada multiplicando la irradiación máxima que podríamos obtener por un factor de insolación, que son pérdidas por separarnos de posición óptima.

- Irradiación sobre la superficie óptima.

$$(\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 \times \text{latitud}, \alpha_{opt} = 0)$$

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 32 de 73

Los ángulos expresados en grados.

$$G(\beta_{opt}) = G(0) \times \left[1 - 4.46 \times 10^{-4} \times \beta_{opt} - 1.19 \times 10^{-4} \times \beta_{opt}^2 \right]^{-1}$$

G(0) es la irradiación anual por metro cuadrado en el plano horizontal. Utilizamos este valor por que es el más comúnmente se encuentra tabulado.

- Irradiación sobre la superficie del generador.

Este factor incluye pérdidas debidas a un grado de suciedad medio de los módulos FV además de otras pérdidas por reflexión debidas al ángulo de incidencia (total 7% aproximadamente).

$$FI = \left(\begin{matrix} (\beta - \beta_{opt})^2 & (\beta - \beta_{opt}) & 1 \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} 8 \times 10^{-9} & 3.8 \times 10^{-7} & -1.218 \times 10^{-4} \\ -4.27 \times 10^{-7} & 8.2 \times 10^{-6} & 2.892 \times 10^{-4} \\ -2.5 \times 10^{-5} & -1.034 \times 10^{-4} & 9.314 \times 10^{-1} \end{matrix} \right) \times \left(\begin{matrix} |\cos \alpha|^2 \\ |\sin \alpha| \\ 1 \end{matrix} \right)$$

La energía sobre el plano de los generadores será:

$$G(\beta, \alpha) = G(\beta_{opt}, \alpha_{opt}) \times FI$$

El factor de sombras se estima mediante la superposición del horizonte local sobre el mapa de trayectorias del sol. Este cálculo se ha realizado ya en el apartado de comprobación del CTE de pérdidas por sombreado. Este cálculo es para sombras producidas por electos lejanos, es decir, que desde todos los puntos del generador fotovoltaico se ve el mismo perfil geográfico sobre el horizonte. Se estima con el método descrito en el pliego técnico de condiciones del IDAE para sistemas FV de conexión a red, que también recoge el CTE, y es el utilizado en este caso.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 33 de 73

3.4.2 RESULTADOS DEL CÁLCULO.

PROVINCIA	Madrid			
Irradiación sobre la superficie horizontal	1,54E+07J/m ²	por día	error	0%
Latitud	40,4grados			
Bop (inclinación óptima)	31,576grados			
Gop (irrad. Superficie óptima)	1,78E+07J/m ²	por día		
beta	30grados			
alfa	-10grados			

Matriz de cálculo y datos parciales	-2,91E-04	-1,17E-04	8,00E-09	3,80E-07	-1,22E-04
	-5,17E-04	3,28E-04	-4,27E-07	8,20E-06	2,89E-04
	9,28E-01	9,28E-01	-2,50E-05	-1,03E-04	0,9314

Geff=G(beta,alfa) 1,65E+07J/m² por día
 Factor de corrección médo sobre la superficie óptima -----> 92,71%

Características de los paneles y el sistema

Potencia por superficie de generador 126,32W/m² de módulo
 Rendimiento por sombra 96,60%(1-Fs)
 Pérdidas sin suciedad ni reflexión 82,08%

HSP medias anuales 4,58horas por día
 EAC (Energía media diaria anual) 0,46KWh/m² por día
 Precio del KWh facturable 0,447€/KWh 74pts/KWh

EAC_año (energía media anual por m²) 167,39KWh/m² en el año

Instalación

Potencia instalada de pico Kwp	Superficie de paneles m ²	EAC_año en KWh	Ingreso año en €
11,56	91,54	15322,30	6846
YR (h)	YA (h)	YF (h).	PR
1.795,32	1671,26	1.325,07	73,8%

Tamaño del inversor 82,82%
 Factor Pfv/Pinv 1,21
 Pérdidas respecto a la orientación e inclinación óptimas 0,5%

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 34 de 73

Además hay que realizar el desglose de producción mensual para poder hacer el seguimiento de la instalación. En este desglose aparecen los datos siguientes:

1. Radiación media diaria (en el periodo correspondiente) por metro cuadrado en superficie horizontal.
2. Radiación media diaria (en el periodo correspondiente) por metro cuadrado en superficie del generador fotovoltaico.
3. Días del mes correspondiente.
4. Combinación del PR y FS, que varía según el mes del año debido a la diferencia de comportamiento del sistema por la distinta temperatura media durante las horas de sol con las que tienen que trabajar los módulos FV.
5. Por último la estimación de producción e ingresos en cada periodo.

Mes	Rad.media día y m ² sup. Horizontal. KWh	Rad media día sup. de modulos KWh	Das del mes	Pérdidas y FS	Eficiencia media al campo generador	Energía al mes Kwh	Ingreso (€)
ENE	1,86	2,85	31	83,2%	12,6%	849,74	380
FEB	2,95	4,01	28	80,6%	12,6%	1046,87	468
MAR	3,78	4,37	31	79,8%	12,6%	1250,80	559
ABR	5,23	5,27	30	77,8%	12,6%	1421,83	635
MAY	5,81	5,30	31	77,8%	12,6%	1476,99	660
JUN	6,53	5,70	30	76,9%	12,6%	1520,79	679
JUL	7,23	6,46	31	75,2%	12,6%	1740,21	778
AGO	6,42	6,30	31	75,5%	12,6%	1704,91	762
SEP	4,70	5,24	30	77,9%	12,6%	1416,23	633
OCT	3,17	4,11	31	80,4%	12,6%	1183,63	529
NOV	2,09	3,11	30	82,6%	12,6%	891,74	398
DIC	1,64	2,63	31	83,7%	12,6%	788,26	352

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 35 de 73

Las pérdidas consideradas en los cálculos anteriores son :

Concepto	
Disponibilidad	98,0%
Pérdidas por suciedad de los paneles	3,0%
Pérdidas por dispersión	3,0%
Pérdidas en el cableado	1,5%
Pérdidas por temperatura	10,0%
Rendimiento inversor	93,5%
Pérdidas por reflexión ángulos grandes en el vidrio	4,0%
Pérdidas por defecto de seguimiento punto de máxima potencia	3,0%
Total Pérdidas	76,4%
Factor de sombras	3,4%

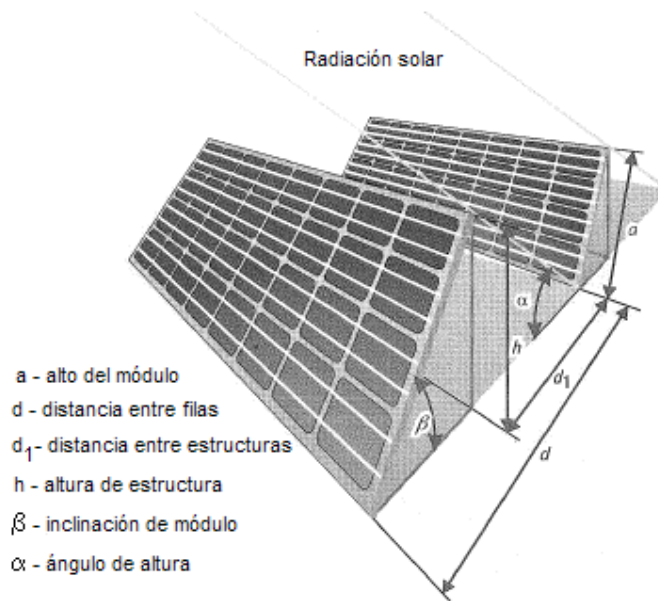
SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 36 de 73

3.5 CÁLCULO DE DISTANCIA ENTRE PANELES

Es necesario agrupar los módulos en filas de paneles y por tanto es posible que las filas se produzcan sombra entre ellos en función de la posición del sol y la posición y distancia entre estos. La posibilidad en verano es menor ya que el recorrido del sol es mas elevado y por tanto la sombra es más pequeña.

La distancia mínima entre fila y fila depende de la altura de los módulos así como de la inclinación de estos (según el ángulo β) y el ángulo de la altura solar (según el ángulo α) mínimo en el lugar de la instalación. Para calcular la distancia mínima que nos ofrezca al menos cuatro horas de sol el peor día del año (22 de Diciembre) tenemos la expresión:

$$d \geq \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})}$$



El resto de valores característicos, los podremos obtener mediante las expresiones siguientes:

$$h = a \cdot \text{sen}(\beta)$$

$$d_1 = d - a \cdot \text{cos}(\beta)$$

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez
Página 37 de 73		

Para nuestro caso, los resultados obtenidos son los siguientes:

Alto del módulo (a):	1.669	mm
Distancia entre filas (d):	3.705	mm
Distancia entre estructuras (d1):	2.233	mm
Altura de estructura (h):	834	mm
Inclinación de los módulos (β):	30,00	°
Angulo de altura solar (α):	20,48	°

3.6 CÁLCULO DEL EFECTO DEL VIENTO SOBRE LOS MÓDULOS.

La estructura soporte, asegura el anclaje del generador solar y proporciona la orientación y el ángulo de inclinación idóneo para el mejor aprovechamiento de la radiación, siendo los encargados de hacer a los paneles fotovoltaicos resistentes a la acción ejercida por el elementos atmosféricos.

El efecto mas desfavorable producido por el viento es aquel en que éste sopla por la parte posterior de las estructuras produciendo un efecto de elevación sobre los módulos, pudiendo producir el desprendimiento de los mismos de sus anclajes o el vuelco de una estructura completa.

El CTE-SE-AE (Acciones en la edificación) nos lleva a una solución para el cálculo de la presión del viento que es complicado utilizar para el caso de los efectos sobre los módulos fotovoltaicos.

La ecuación general para la obtención de la presión máxima del viento viene dada por:

$$Pe = Pd \cdot Ce \cdot Cp$$

Donde:

1. **Pe:** Presión estática sobre los módulos fotovoltaicos (kN/m²).
2. **Pd:** Presión dinámica producida por el viento en movimiento (kN/m²). Es dependiente de la zona geográfica.

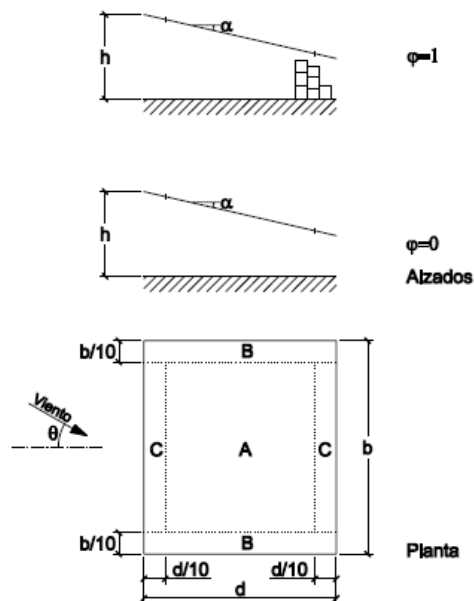
SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 38 de 73

3. **Ce:** coeficiente de exposición , que depende de la altura respecto del suelo a la que se encuentra el objeto.que depende de la forma del objeto.
4. **Cp:** coeficiente eólico o de presión , que depende de la forma del objeto.

El punto 3.3.2 del mismo CTE nos dice que podemos tomar una presión dinámica de referencia para todo el territorio nacional de $P_d=0,5 \text{ kN/m}^2$ y que para edificios de menos de 8 plantas un $C_e=2$, independientemente de la altura.

El coeficiente de presión se puede obtener de forma aproxima asociando una de las formas canónicas con que cuenta este documento al objeto en cuestión.

Tabla D.8 Marquesinas a un agua



Para un conjunto de módulos fotovoltaicos la forma más parecida es una marquesina a un agua.

De la tabla se toma el valor de C_p de caso más parecido.

Si colocamos las estructuras soporte lo más cercanas a la cubierta tendremos un factor de obstrucción de prácticamente de la unidad, con lo que el coeficiente para la zona A y 30° de inclinación será de -1,5.

Este signo negativo significa que la acción va en contra de la acción gravitatoria.

Suponemos que este valor es el medio para toda nuestra superficie de paneles.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 39 de 73

Una nota bajo la misma tabla indica que a efectos de cálculo de estructuras el punto de aplicación de la resultante tendrá punto de aplicación a d/4 del borde situado a barlovento de la estructura.

Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción ϕ	Coeficientes de presión exterior		
			$C_{p,10}$		
			Zona (según figura)		
			A	B	C
0°	Abajo	$0 \leq \phi \leq 1$	0,5	1,8	1,1
	Arriba	0	-0,6	-1,3	-1,4
	Arriba	1	-1,5	-1,8	-2,2
5°	Abajo	$0 \leq \phi \leq 1$	0,8	2,1	1,3
	Arriba	0	-1,1	-1,7	-1,8
	Arriba	1	-1,6	-2,2	-2,5
10°	Abajo	$0 \leq \phi \leq 1$	1,2	2,4	1,6
	Arriba	0	-1,5	-2,0	-2,1
	Arriba	1	-2,1	-2,6	-2,7
15°	Abajo	$0 \leq \phi \leq 1$	1,4	2,7	1,8
	Arriba	0	-1,8	-2,4	-2,5
	Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
20°	Abajo	$0 \leq \phi \leq 1$	1,7	2,9	2,1
	Arriba	0	-2,2	-2,8	-2,9
	Arriba	1	-1,6	-2,9	-3,0
25°	Abajo	$0 \leq \phi \leq 1$	2,0	3,1	2,3
	Arriba	0	-2,6	-3,2	-3,2
	Arriba	1	-1,5	-2,5	-2,8
30°	Abajo	$0 \leq \phi \leq 1$	2,2	3,2	2,4
	Arriba	0	-3,0	-3,8	-3,6
	Arriba	1	-1,5	-2,2	-2,7

Por lo tanto la presión estática será de:

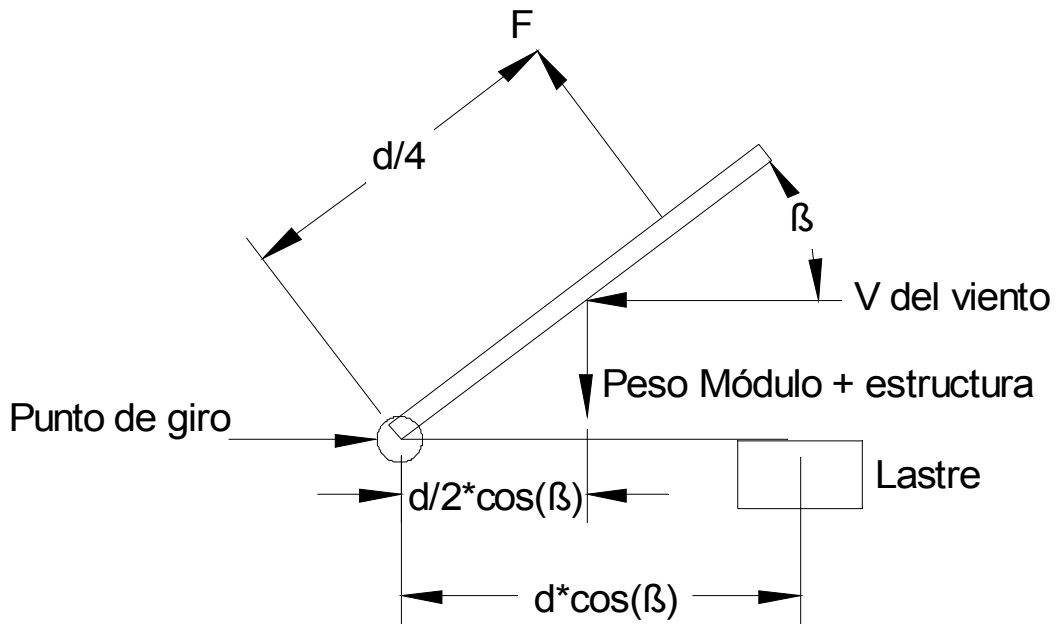
$$Pe = Pd \cdot Ce \cdot Cp$$

La formula que expresa la fuerza de elevación para los módulos se expresa mediante:

$$F = Pe \cdot S \cdot \text{sen}^2(\beta)$$

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 40 de 73

El diagrama de fuerzas sobre el panel es:



Los momentos determinados por el peso del módulos mas estructuras y el lastre con sus correspondientes brazos de giro deben ser mayores que el que determinado por la acción del viento.

$$Laste \geq \frac{Fuerza \cdot \frac{d}{4} - Peso \cdot \frac{d}{2} \cdot \cos(\beta)}{d \cdot \cos(\beta)}$$

Los resultados se reflejan en la siguiente tabla donde espesamos el lastre mínimo necesario

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 41 de 73

por apoyo, además de conoce el esfuerzo que tiene que soportar el anclaje encargado de sujetar la estructura al dado de hormigón.

Inclinación	grados	30
Presión dinámica	kN/m ²	0,5
Ce		2
Cp		1,5
Presión estática	kN/m ²	1,5
Superficie fila de módulos	m ²	15,27
Fuerza sobre paneles	Kg	583,95
Número de apoyos		12
Lastre por apoyo	Kg	48,66

Para esta función se emplearán bordillos de calzada de tipo C-9 (30 x 20) del catálogo que se presenta con la documentación de los materiales utilizados.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 42 de 73

3.7 CÁLCULO DE CONDUCTORES.

3.7.1 TEORÍA DE CÁLCULO.

La sección de los conductores se ha dimensionado teniendo en cuenta que las caídas de tensión máxima en ellos, en función de la tensión a la que estén trabajando, estén por debajo de los valores siguientes:

Tramo Mod. Fotovoltaico – Mod. Fotovoltaico	0,20 %
Tramo Mod. Fotovoltaico - Inversor	0,80 %
Tramo Inversor – Resto de red	0,50 %

Para el cálculo de la sección del conductor, nos servimos de la relación entre la sección del conductor y su longitud, tal y como muestra la figura siguiente:

$$VAB / I = \rho \cdot L/S$$

Despejando S, tenemos:

$$S = \rho \cdot L \cdot I / VAB$$

Donde:

ρ : Resistividad del material conductor $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

L: Longitud del conductor

I: Intensidad de la corriente

VAB: Diferencia o caída de potencial entre los puntos A y B

Ahora bien, si consideramos que el conductor tiene un trayecto de ida y otro de vuelta y empleamos el concepto conductividad (σ), la ecuación quedará como se indica a continuación:

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 43 de 73

$$S = 2 \cdot L \cdot I / (\sigma \cdot VAB)$$

Y para trifásica será:

$$S = \sqrt{3} \cdot L \cdot I / (\sigma \cdot VAB)$$

El tubo empleado para contener al conductor, dependerá de la situación de este (superficial, empotrado, al aire o enterrada), así como el número de ellos que se piensa agrupar.

Sección de conductor (mm ²)	DIÁMETRO EXTERIOR DE LOS TUBOS (SUPERFICIE)				
	NÚMERO DE CONDUCTORES				
	1	2	3	4	5
1,50	12,00	12,00	16,00	16,00	16,00
2,50	12,00	12,00	16,00	16,00	20,00
4,00	12,00	16,00	20,00	20,00	20,00
6,00	12,00	16,00	20,00	20,00	25,00
10,00	16,00	20,00	25,00	32,00	32,00
16,00	16,00	25,00	32,00	32,00	32,00
25,00	20,00	32,00	32,00	40,00	40,00
35,00	25,00	32,00	40,00	40,00	40,00
50,00	25,00	40,00	50,00	50,00	50,00
70,00	32,00	40,00	50,00	63,00	63,00
95,00	32,00	50,00	63,00	63,00	63,00
120,00	40,00	50,00	63,00	75,00	75,00
150,00	40,00	63,00	75,00	75,00	75,00
185,00	50,00	63,00	75,00	---	---
240,00	50,00	75,00	---	---	---

Para más de 5 conductores por tubo o para conductores o cables de secciones diferentes a instalar en el mismo tubo, su sección interior será como mínimo, igual a 2,50 veces la sección ocupada por los conductores.

En este apartado se debe tener en cuenta lo dispuesto en la ITC-40 donde se dice que la sección de los conductores debe soportar al menos el 125% de la corriente máxima del generador y la caídas de tensión entre el generador y la red de interconexión pública no debe superar el 1.5%

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 44 de 73

3.7.2 CÁLCULO DE SECCIONES.

Tramo de CA Trifásico

Distancia considerada 190 m y la temperatura ambiente de 40°C como límite de funcionamiento.

I_{max} (A_{eff}) de línea	Corrección por temperatura	Corrección Cables agrupados	Corriente máxima (A) para cálculo de sección por corriente	Sección por caída de tensión 0,5% (Trifásica) mm²
18,01	1	1,00	22.51	52,91

Para una corriente de 22.51 A tenemos una sección mínima según la ITC-19 del RBTE de 2.5 mm², por lo que será el criterio de caída de tensión el que imponga una sección de 52.91 mm², siendo la sección comercial de 70 mm². Para 4 conductores (3F+N) de 70 mm² se requiere un tubo de diámetro exterior de 63 mm.

Tramo de CA Monofásico.

Este tramo es de poca longitud por lo que solo se verá afectado por el criterio de corriente no por el de caída de tensión, coincidiendo en este caso la corriente de línea en trifásica con la corriente de línea del caso anterior y la sección del cable mínima 2.5 mm², tomamos una sección comercial de 4 mm². Para dos conductores El diámetro externo del tubo para este tramo debe ser de 16mm.

Tramo CC

La longitud de cálculo es de 25 m y la temperatura ambiente de funcionamiento, para el peor caso, de una temperatura ambiente de 60°C.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 45 de 73

Isc	Corrección por temperatura	Corrección Cables agrupados	Corriente máxima (A) para cálculo de sección por corriente	Sección por caída de tensión 1,0% (C.C.) mm ²
7,8	0,78	0,8	10,20	5,24

Para una corriente de 10.2 A tenemos una sección mínima según la ITC-19 del RBTE de menor a 1.5 mm² que es peor caso que el nuestro puesto que la tabla considera que los dos polos van por el mismo tubo, y en nuestro caso se llevarán por tubos separados, por lo que será el criterio de caída de tensión el que imponga una sección de 5.24 mm², siendo la sección comercial de **6 mm²**. Para dos cables por tubo éste debe ser de 16mm de diámetro externo, sin embargo al tratarse de cable de doble aislamiento, es conveniente usar una sección mayor **20 mm²**

Todas las canalizaciones utilizadas deberán cumplir la norma UNE 50.086, en cuanto a características mínimas.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 46 de 73

3.8 CÁLCULO DE PROTECCIONES Y CONTADORES.

3.8.1 PUESTA A TIERRA.

Según RD 1663/2000, donde se fijan las condiciones técnicas para la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de BT, la puesta a tierra se realizará de forma que no altere la de la compañía eléctrica distribuidora, con el fin de no transmitir defectos a la misma.

Asimismo, las masas de la instalación fotovoltaica estarán conectadas a una tierra independiente de la del neutro de la empresa distribuidora de acuerdo con el Reglamento electrotécnico para baja tensión. Por ello, se realizará una única toma de tierra conectando directamente a la barra principal de tierra del centro educativo, tanto la estructura soporte del generador fotovoltaico, como la borna de puesta a tierra del inversor, con el fin de no crear diferencias de tensión peligrosas para las personas con la realización de diversas tomas de tierra en el centro educativo. La superficie del conductor de protección, será (ITC-BT-18):

$$S=S_f \text{ para } S_f \leq 16 \text{ mm}^2$$

$$S=16 \text{ mm}^2 \text{ para } 35 \text{ mm}^2 \geq S_f > 16 \text{ mm}^2$$

$$S=S_f/2 \text{ para } S_f > 35 \text{ mm}^2$$

Con lo que tendremos unas secciones de **6 mm²** para el marco de los módulos y su estructura soporte, así como la conexión de la carcasa de los inversores y **35 mm²** para CA.

Todas las conexiones de protección se unirán en un bornero de tierras en el cuadro de protecciones a la salida de los inversores.

La estructura soporte será de aluminio, como el marco de los módulos fotovoltaicos, lo que permitirá dar masa al marco de estos a través de la misma ya que no precisará de aislamiento para evitar pares galvánicos, además de aligerar el peso de todo el conjunto.

3.8.2 PROTECCIONES EN EL GENERADOR FOTOVOLTAICO

3.8.2.1 (CC).CORTOCIRCUITOS.

El cortocircuito es un punto de trabajo no peligroso para el generador fotovoltaico, ya que la corriente está limitada a un valor muy cercano a la máxima de operación normal del mismo. El

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez
		Página 47 de 73

cortocircuito puede, sin embargo, ser perjudicial para el inversor. Como medio de protección se incluyen fusibles en cada polo de 10 A, que actúan también como protección contra sobrecargas, como veremos a continuación.

Para las personas es peligrosa la realización / eliminación de un cortocircuito franco en el campo generador, por pasar rápidamente del circuito abierto al cortocircuito, lo que produce un elevado arco eléctrico, por la variación brusca en la corriente. Como medida de protección a las personas frente a este caso es, se llevara a cabo la conducción separada del positivo y del negativo. Así se evita la realización / eliminación accidental de un cortocircuito producido por daños en el aislamiento del cable.

Por otro lado el portafusibles debe presentar una tensión nominal superior a la máxima tensión que pueda aparecer a la entrada de los inversores. Con lo que 690 V de tensión nominal para alterna será suficiente.

3.8.2.2 SOBRECARGAS

Aunque el inversor obliga a trabajar al generador fotovoltaico fuera de su punto de máxima potencia si la potencia de entrada es excesiva, se introduce en el sistema un fusible en cada polo tipo gG normalizados según EN 60269 con la función adicional de facilitar las tareas de mantenimiento.

Se utilizarán fusibles de corriente superior a $1.25 \cdot I_{cc}$ de los módulos fotovoltaicos (9.8 A) como para evitar fusiones no deseadas. Así, serán de un mínimo de 10 A.

3.8.2.3 CONTACTOS DIRECTOS E INDIRECTOS.

El generador fotovoltaico se conectará en modo flotante, proporcionando niveles de protección adecuados frente a contacto directo e indirecto, siempre y cuando la resistencia de aislamiento de la parte de continua se mantenga por encima de unos niveles de seguridad y no ocurra un primer defecto a masas o a tierra. En este último caso, se genera una situación de riesgo, que se soluciona mediante:

-El aislamiento clase II de los módulos fotovoltaicos, cables y cajas de conexión. Éstas últimas, contarán además con llave y estarán dotadas de señales de peligro eléctrico.

- Controlador permanente de aislamiento, integrado en el inversor, que detecte la aparición de un primer fallo, cuando la resistencia de aislamiento sea inferior a un valor determinado. Esta tensión es la mayor que puede alcanzar el generador fotovoltaico, por lo que constituye la condición de mayor peligro eléctrico. Con esta condición se garantiza que la corriente de defecto va a ser inferior a 30 mA, que marca el umbral de riesgo eléctrico para las personas.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 48 de 73

.-El inversor detendrá su funcionamiento y se activará una alarma visual en el equipo.

3.8.2.4 SOBRETENSIONES.

Sobre el generador fotovoltaico, se pueden generar sobretensiones de origen atmosférico de cierta importancia. Por ello, se protegerá la entrada CC del inversor, mediante dispositivos bipolares de protección clase II, válidos para la mayoría de equipos conectados a la red. Estos dispositivos tienen un tiempo de actuación bajo < 25 ns y una corriente máxima de actuación de 15 kA, con una tensión residual inferior a 2 kV. El dispositivo tendrá una tensión de operación entre 140 y 500 V. No se hace necesaria la protección de cables, tubos, contadores, etc, por permitir éstos valores más alto de tensión residual (4-6 kV)

3.8.3 PROTECCIONES DESDE EL GENERADOR AL PUNTO DE CONEXIÓN (CA).

Es la parte correspondiente a la salida del inversor hasta el punto de conexión

3.8.3.1 CORTOCIRCUITOS Y SOBRECARGAS.

Según RD 1663-2000 es necesario incluir un interruptor general manual, que será un interruptor magnetotérmico omnipolar con poder de corte superior a la corriente de cortocircuito indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión. En nuestro caso esta corriente es de 4,5 kA.

Este interruptor, que se ubica en el cuadro de contadores de la instalación fotovoltaica, será accesible sólo a la empresa distribuidora, con objeto de poder realizar la desconexión manual, que permita la realización, de forma segura, de labores de mantenimiento en la red de la compañía eléctrica. Esta inaccesibilidad al mismo nos obliga a introducir un segundo magnetotérmico omnipolar en la instalación, de menor intensidad nominal, que sea el que realmente proteja a la instalación de las sobrecargas y cortocircuitos.

Así, este segundo magnetotérmico actuará antes que el interruptor general manual, salvo cortocircuitos de cierta importancia provenientes de la red de la compañía. Se utilizarán magnetotérmicos tipo C, los más utilizados cuando no existen corrientes de arranque de consumo elevadas. Según norma EN 60269, para protección contra sobrecargas, debe cumplir:

I diseño de la línea $< I$ asignada dispositivo de protección $< I$ admisible de la línea

22.51 A $< I$ asignada dispositivo de protección < 202 A

Según este cálculo, el magnetotérmico seleccionado será tetrapolar de 25 A de corriente asignada y con un poder de corte mínimo de 6 kA.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez
		Página 49 de 73

El interruptor general manual será, por su parte bipolar de 40 A de corriente asignada y con un poder de corte mínimo de 6 kA.

Los interruptores automáticos que se encuentran a la salida de los inversores serán corte bipolar de 32A de corriente asignada y con poder de corte mínimo de 6 kA.

Los fusibles seccionadores exigidos por la compañía distribuidora en el cuadro de control y medida, deberán tener una corriente nominal superior a 40 amperios.

3.8.3.2 FALLOS A TIERRA.

La instalación contará con diferencial de 30 mA de sensibilidad en la parte CA a la salida de cada inversor, para proteger de derivaciones en este circuito. Con el fin de que sólo actúe por fallos a tierra, será de una corriente asignada superior a la del magnetotérmico de protección. En nuestro caso, será bipolar de 40 A.

3.8.4 PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DE SUMINISTRO .

En la ITC-BT-40 se recogen algunas especificaciones relacionadas con la calidad de la energía inyectada a red en instalaciones generadoras, que se especifican con más detalle en el RD 1663-2000. Así la instalación contará con:

3.8.4.1 INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DE INTERCONEXIÓN.

Para la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, junto a un relé de enclavamiento. Los valores de actuación para máxima y mínima frecuencia, máxima y mínima tensión serán de 51 Hz, 49 Hz, 1,1 x Um y 0,85 x Um, respectivamente.

El rearme del sistema de conmutación y, por tanto, de la conexión con la red de baja tensión de la instalación fotovoltaica será automático, una vez restablecida la tensión de red por la empresa distribuidora. Se integran en el equipo inversor las funciones de protección de máxima y mínima tensión y de máxima y mínima frecuencia y en tal caso las maniobras automáticas de desconexión-conexión serán realizadas por éste. Éste sería el caso que nos ocupa, ya que el inversor CONERGY wr4600, tiene estas protecciones incluidas. Las funciones serán realizadas mediante un contactor cuyo rearme será automático, una vez se restablezcan las condiciones normales de suministro de la red. El contactor, gobernado normalmente por el inversor, podrá ser activado manualmente. El estado del contactor («on/off»), deberá señalizarse con claridad en el frontal del equipo, en un lugar destacado. Cuando el inversor no pudiese realizar la función (on/off), esta labor la realizará el magneto-térmico accesible de la instalación, que se instalará junto al inversor.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614 Autor: Félix Jiménez	Página 50 de 73

En caso de que se utilicen protecciones para la interconexión de máxima y mínima frecuencia y de máxima y mínima tensión incluidas en el inversor, el fabricante del mismo deberá certificar:

1. Los valores de tara de tensión.
2. Los valores de tara de frecuencia.
3. El tipo y características de equipo utilizado internamente para la detección de fallos (modelo, marca, calibración, etc.).
4. Que el inversor ha superado las pruebas correspondientes en cuanto a los límites de establecidos de tensión y frecuencia.

Mientras que, de acuerdo con la disposición final segunda del anteriormente mencionado Real Decreto, no se hayan dictado las instrucciones técnicas por las que se establece el procedimiento para realizar las mencionadas pruebas, se aceptarán a todos los efectos los procedimientos establecidos y los certificados realizados por los propios fabricantes de los equipos.

En caso de que las funciones de protección sean realizadas por un programa de «software» de control de operaciones, los precintos físicos serán sustituidos por certificaciones del fabricante del inversor, en las que se mencione explícitamente que dicho programa no es accesible para el usuario de la instalación.

Se adjunta en el apartado de garantías y certificados todos estos documentos.

3.8.4.2 SEPARACIÓN GALVÁNICA.

Entre la red de distribución de baja tensión y las instalaciones fotovoltaicas, se realizará esta separación por medio de un transformador de aislamiento.

3.8.4.3 FUNCIONAMIENTO EN ISLA.

El interruptor automático de la interconexión impide este funcionamiento, peligroso para el personal de la CED.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 51 de 73

3.8.5 CONTADORES.

Cumplirán todo lo recogido en la ITC-BT-16 y en el RD 1663/2000, de tal manera que se instalarán dos contadores trifásicos unidireccionales ajustados a la normativa metrológica vigente y su precisión deberá ser como mínimo la correspondiente a la de clase de precisión 2, regulada por el Real Decreto 875/1984, de 28 de marzo.

Las características del equipo de medida de salida serán tales que la intensidad correspondiente a la potencia nominal de la instalación fotovoltaica se encuentre entre el 50 por 100 de la intensidad nominal y la intensidad máxima de precisión de dicho equipo. En nuestro caso, para una potencia nominal de la instalación de 10.5 kW y un factor de potencia de 0,97:

$$0,5 I \text{ nominal de precisión} < I \text{ nominal FV} < I \text{ max de precisión}$$

$$0,5 I \text{ nominal de precisión} < 15.2 A < I \text{ max de precisión}$$

Los contadores serán seleccionados entre las marcas homologadas por la compañía eléctrica distribuidora, siendo, además, certificados por la misma.

4 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y AMBIENTALES.

4.1 CONDICIONES TÉCNICAS.

4.1.1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION.

Este pliego de condiciones determina las condiciones mínimas aceptables para el suministro y montaje de la instalación fotovoltaica de conexión a la red eléctrica.

4.1.2 MATERIALES.

a) Módulos fotovoltaicos

Todos los módulos fotovoltaicos vendrán con sus curvas características de tensión/intensidad y de potencia a 25°C de temperatura de célula y una radiación de 1000W/m². No se admitirán potencias inferiores al 2.5% respecto de la nominal (175Wp).

b) Inversor

Se adjuntarán las pruebas de funcionamiento efectuadas por el fabricante (CONERGY).

c) Elementos de protección

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez
		Página 52 de 73

Serán de la calidad y fabricante especificados en el proyecto.

d) Conductores

Se adaptarán a las características del proyecto en cuanto a secciones y aislamiento y serán de la clase 5 (flexible).

4.1.3 RECEPCIÓN DE MATERIALES.

En la recepción del material se tendrá en cuenta que:

.-El número de bultos tiene que corresponder con el albarán de envío.

.-Los equipos y materiales eléctricos del albarán tienen que ser los especificados en el proyecto.

Los equipos no presentarán roturas, ralladuras ni golpes. En el caso de los módulos fotovoltaicos cualquier tipo de imperfección en el vidrio

4.1.4 EJECUCIÓN DEL TRABAJO.

Corresponde al Contratista la responsabilidad en la ejecución de los trabajos que deberán realizarse conforme a las reglas que le competen.

4.1.5 RECEPCIÓN EN OBRA.

Durante la obra o una vez finalizada la misma, el Director de Obra podrá verificar que los trabajos realizados están de acuerdo con las especificaciones de este Pliego de condiciones. En la recepción de la obra se incluirán las pruebas de funcionamiento de los equipos. Las pruebas mínimas serán:

a) Campo de paneles

En el campo de paneles se comprobará que todas las líneas tienen la tensión e intensidad adecuada, y todas las conducciones eléctricas están bien fijadas y conexionadas, así como identificadas.

b) Armarios de conexión y protecciones en continua

Todos los cables de entrada y salida estarán señalizados. Las conexiones tienen que estar bien apretadas. El armario no presentará roturas.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 53 de 73

c) Inversor

Funcionamiento del inversor Arranque-Paro. Desconexión de la red para comprobar la protección contra funcionamiento en isla. Identificación y fijación de conductores dentro de los tubos o canaletas.

d) Armarios de conexión y protecciones en alterna

Todos los cables de entrada y salida estarán señalizados. Las conexiones tienen que estar bien apretadas. El armario no presentará roturas.

4.1.6 MONTAJE DE EQUIPOS.

4.1.6.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

a) Montaje mecánico

Se realizará siguiendo las instrucciones del fabricante de las estructuras

b) Montaje eléctrico

Se realizará mediante el sistema "multicontact" de montaje rápido para conexiones entre módulos y con cajas estancas de conexión, para entrar por canalizaciones entubadas.

a) Ubicación

El inversor es un equipo electrónico sofisticado y debe ser tratado en consecuencia. Es un equipo formado por complejos microprocesadores de control, circuitos integrados, transistores, mosfets, etc. En la selección del lugar adecuado para la instalación del inversor se deben considerar los siguientes aspectos:

-La instalación debe realizarse en lugares secos protegidos de fuentes de calor y humedad. Exponer el inversor a goteras o proyecciones de agua es particularmente destructivo y potencialmente peligroso (riesgo incendios, cortocircuitos, etc). Por lo que hay que comprobar estas condiciones en el recinto elegido:

La humedad relativa máxima menor del 90% sin condensaciones.

Lugar ventilado sin excesivo polvo en suspensión.

Lugar protegido de la intemperie.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez
		Página 54 de 73

Temperatura ambiente entre 0 y 40°C.

Comprobar la posibilidad de goteras o proyecciones de agua próximas.

Las condiciones del entorno del inversor van a ser decisivas a largo plazo, manteniendo todos sus componentes en un estado óptimo de funcionamiento. El bajo nivel sonoro del equipo en funcionamiento permite su utilización en lugares próximos a las zonas frecuentadas en el edificio. Los conductores de ventilación han sido diseñados para su trabajo en ambientes con una cantidad de polvo en suspensión equivalente al de un ambiente doméstico. La instalación del equipo en un ambiente cargado de partículas en suspensión o polvo excesivo reducirán su capacidad de refrigeración y por lo tanto su potencia máxima disminuirá con el tiempo.

b) Fijación

Para realizar la instalación y facilitar el trabajo del instalador, colocar el inversor en posición vertical, fijado a la pared. Los cables eléctricos de conexión deben estar fijados a la pared y no colgados del inversor.

Los inversores deben tener una separación adecuada entre ellos o con cualquier otro objeto de alrededor.

c) Conexión

La instalación del inversor debe realizarse por personal técnico cualificado. Consultar las normas que regulan la utilización de corrientes de baja tensión en cuanto a requerimientos de conectores, dimensión de cables y canalizaciones.

d) Recomendaciones

Es importante evitar cualquier tipo de contacto con las zonas internas que podrían provocar averías. Por otra parte, si el equipo ha recibido tensión anteriormente, existe la posibilidad de que exista tensión, hay que tener especial cuidado con este aspecto. Además, hay cierto tipo de maniobras que se deben realizar con material específico que no viene incluido en la compra del inversor, y que debe realizarse por personal cualificado.

No se deben obstruir de forma alguna las salidas y entradas de ventilación al equipo.

e) Instalación

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 55 de 73

Para este apartado ver características técnicas de módulo e inversor y el apartado puesta en marcha en el catálogo del inversor.

Una vez instalado debe comprobarse la potencia instalada según se detalla en el pliego técnico de condiciones para instalaciones conectadas a red del IDEA.

4.1.7 MANTENIMIENTO.

4.1.7.1 MODULOS FOTOVOLTAICOS.

Los módulos fotovoltaicos requieren muy escaso mantenimiento, por su propia configuración, carente de partes móviles y con el circuito interior de las células y las soldaduras de conexión muy protegidas del ambiente exterior por capas de material protector.

El mantenimiento abarca los siguientes procesos:

- Limpieza periódica del panel. La periodicidad del proceso depende de la frecuencia de ensuciamiento. Se debe tener especial cuidado de los módulos en cuanto al caso de depósitos procedentes de las aves. La operación de limpieza consiste simplemente en el lavado de los módulos con agua y algún detergente no abrasivo. Esta operación se tiene que realizar a primeras horas de la mañana, fuera de las horas de funcionamiento de la instalación y con un grado de luminosidad en que los módulos no presenten tensión cuando el módulo está frío. No es recomendable en ningún caso utilizar mangueras de presión.

- Inspección visual de posibles degradaciones internas y de la estanqueidad del panel.
- Control de las conexiones eléctricas y el cableado.
- Revisión de los prensaestopas de la caja de conexión.

4.1.7.2 INVERSOR.

El mantenimiento del inversor no difiere especialmente de las operaciones normales en equipos electrónicos. Las averías en condiciones normales de funcionamiento son poco frecuentes y la simplicidad de los equipos reduce el mantenimiento a las siguientes operaciones:

- Observación visual general del estado y funcionamiento del inversor.
- Comprobación del conexionado y cableado de los componentes.
- Observación del funcionamiento de los indicadores ópticos.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 56 de 73

- Acumulación de polvo y suciedad que se pueda producir en el conducto de ventilación

4.1.7.3 CAJAS DE CONEXIÓN.

- Se observará la estanqueidad de los armarios y prensaestopas.
- Cableado general del armario.
- Apriete de bornas y detección de cables con temperatura elevada.
- Apriete de bornas y detección de cables con temperatura elevada.
- Señalización de cables en buen estado.
- Comprobación de la protecciones (varistores, fusibles, magnetotérmico, seccionadores, etc...)

4.1.7.4 CAMINOS DE CABLES.

- Eliminar suciedad en las conducciones que se encuentren en el exterior.
- Comprobación visual del aislamiento de los cables.
- Fijación a canaletas, muros, etc...
- Señaladores de cables en buen estado.

4.1.7.5 COMPROBACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA.

Se deberá comprobar que los puntos de puesta a tierra ofrecen una resistencia de tierra inferior a 10 ohms, así como su buen aspecto visual (ausencia de corrosiones, cables en condiciones adecuadas, etc)

4.1.8 GARANTÍA DE LOS EQUIPOS. INSTALACIÓN Y DIMENSIONADO.

4.1.8.1 CONDICIONES GENERALES DE GARANTIA.

- La fecha de vigencia de las garantías, rige a partir de la puesta en marcha de la instalación y aceptación por el cliente.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 57 de 73

- Responderá durante el tiempo de garantía por todos los defectos de material o manufactura que aparezcan en el producto y que limiten sus funciones, siempre y cuando dicho producto esté instalado y utilizado bajo las condiciones normales que se especifican en los manuales de los equipos, y que el usuario debe conocer para la correcta operación del sistema.

- Los signos naturales de desgaste por uso no se consideran defectos.

- No existe ninguna garantía cuando los daños son causados por los usuarios finales, o terceras personas, especialmente por una instalación u operación impropia, manejo incorrecto o descuidado, puesta a tierra no apropiada u operación o uso inapropiado.

- Después de vencido el tiempo de garantía no existe posibilidad de reclamación.

- La garantía puede darse en forma de reparación o de sustitución parcial o total.

- La garantía no cubre la desinstalación de los equipos o traslados de lugar.

4.1.8.2 GARANTÍA DE LOS EQUIPOS.

a) Módulos fotovoltaicos

Garantía de hasta 25 años sobre la potencia de salida y de 5 años contra los defectos de fabricación.

b) Inversor

El equipo dispone de DOS AÑOS de garantía contra todo defecto de fabricación, incluyendo en este concepto las piezas y la mano de obra correspondiente.

La garantía no será aplicable en los siguientes casos:

- Daños causados por la utilización incorrecta del equipo.

- Utilización constante de cargas con potencias superiores a la máxima nominal.

- Utilización en condiciones ambientales no adecuadas

- Equipos que presenten golpes, desmontados o que hayan sido reparados en un servicio técnico no autorizado.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 58 de 73

- Descargas atmosféricas, accidentes, agua, fuego y otras circunstancias que están

fuera del control del fabricante. La garantía no incluye los costes derivados de las revisiones periódicas, mantenimiento y transportes, tanto de personal como del inversor. El fabricante no se responsabiliza de los daños a personas o costes que se puedan derivar de la utilización incorrecta de este producto.

Para obtener el servicio de garantía se deberá dirigir al vendedor, y en el caso de que no sea posible su localización, directamente a fábrica.

c) Resto de los equipos de la instalación

La cobertura de garantía para el resto de los equipos es de 2 años.

4.1.8.3 GARANTÍA DE DIMENSIONADO.

La garantía sobre el dimensionado cubre los siguientes parámetros:

- Responde por el dimensionado y configuración del sistema.
- No se responde por fallos en el suministro eléctrico de la empresa distribuidora.
- No se asume ninguna responsabilidad, si se instalan equipos diferentes a los especificados, o si no se siguen las recomendaciones en cuanto a configuración, instalación y operación.
- Transcurrido un año a partir de la puesta en marcha, no tendrá lugar ninguna reclamación ni indemnización al respecto de esta garantía, por considerarse como período suficiente de prueba que demuestra el correcto dimensionado del sistema.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 59 de 73

4.2 ANÁLISIS AMBIENTAL.

Las instalaciones de conexión a red tienen un impacto medio ambiental que podemos considerar prácticamente nulo. Si analizamos diferentes factores, como son el ruido, emisiones gaseosas a la atmósfera, destrucción de flora y fauna, residuos tóxicos y peligrosos vertidos al sistema de saneamiento, veremos que su impacto, solo se limitará a la fabricación pero no al funcionamiento.

4.2.1 IMPACTO AMBIENTAL RELACIONADO CON EL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN.

- Ruidos:

Módulos fotovoltaicos: La generación de energía de los módulos fotovoltaicos, es un proceso totalmente silencioso.

Inversor: Trabaja a alta frecuencia que no es audible por el oído humano.

- Emisiones gaseosas a la atmósfera:

La forma de generar de un sistema fotovoltaico, no requiere ninguna combustión para proporcionar energía, solo de una fuente limpia como es el sol.

- Destrucción de flora y fauna:

Ninguno de los equipos de la instalación tiene efecto de destrucción sobre la flora o la fauna.

- Residuos tóxicos y peligrosos vertidos al sistema de saneamiento:

Para que los equipos de la instalación funcionen no necesitan verter nada al sistema de saneamiento, la refrigeración se realiza por convección natural.

4.2.2 IMPACTO AMBIENTAL RELACIONADO CON LA FABRICACIÓN.

En todo proceso de fabricación, de módulos fotovoltaicos, componentes electrónicos para los inversores, estructuras, cables, etc, es donde las emisiones gaseosas a la atmósfera y vertidos al sistema de saneamiento, pueden tener mayor impacto sobre el medio.

Los residuos tóxicos y peligrosos están regulados por el Real Decreto 952/1997 de 20 de junio. En este documento se encuentra reglamentadas las actuaciones en materia de eliminación de este tipo de residuos, que se resume en un correcto etiquetado y en su almacenamiento hasta

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez
		Página 60 de 73

la retirada por empresas gestoras de residuos, ya que no se pueden verter al sistema de saneamiento. Esto se traduce en costes asociados a los procesos de fabricación de manera que en el diseño de procesos hay que tener en cuenta los posibles residuos. Los principales residuos de esta clase son: disoluciones de metales, aceites, disolventes orgánicos, restos de los dopantes y los envases de materias primas que han contenido estos productos.

Los ácidos y las bases empleadas en los procesos de limpieza pertenecen a la clase de residuos que se eliminan a través del sistema integral de saneamiento. Estos están regulados por la Ley 10/1993 de 26 de octubre. Esta ley limita las concentraciones máximas de contaminantes que es posible verter, así como la temperatura y el pH. Las desviaciones con respecto a los valores marcados por la ley se reflejan en el incremento de la tasa de depuración.

En cuanto a la energía consumida en el proceso de fabricación, tenemos el dato que en un tiempo entre 4 y 7 años los módulos fotovoltaicos devuelven la energía consumida en la fabricación, muy inferior a la vida prevista para estos que es superior a los 25 años.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 61 de 73

5 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.

5.1 RIESGOS EXISTENTES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN.

El Real Decreto 1627/1997 de 24 de Octubre dispone que en todo Proyecto de ejecución de obra debe incluirse un estudio de Seguridad y Salud, como requisito necesario para el visado por el Colegio Profesional. A continuación se detallarán una serie de normas que serán de obligatorio cumplimiento para la realización de la obra por todo el personal autorizado.

5.1.1 RIESGOS LABORALES.

- Caídas al mismo o distinto nivel.
- Electrocuciiones.
- Quemaduras producidas por descargas eléctricas.
- Cortes en las manos.
- Atrapamiento de los dedos al introducir cables en los conductos.
- Golpes en la cabeza en el montaje de los módulos fotovoltaicos, bandejas, canaletas, equipos y armarios de conexión.
- Caída de materiales.

5.1.2 PREVENCIÓN.

Todos los medios de protección individual irán especificados en cuanto a sus características y condiciones técnicas correspondientes, así como las medidas necesarias para su correcto uso y mantenimiento, atendiendo tanto a la reglamentación vigente como a las normas de uso.

- Redes de protección para evitar la caída al vacío desde la cubierta del edificio.
- Barandillas de protección.
- Casco de seguridad para evitar golpes en la cabeza y caída de materiales de forma accidental.
- Cinturón de seguridad para la prevención de caídas.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez
		Página 62 de 73

• Cuerda de seguridad para fijación del cinturón. Su utilización será siempre en las siguientes condiciones:

- La longitud será tal que no permita nunca el choque contra ningún nivel.

- En caso de caída se tendrá en cuenta el posible penduleo para no chocar contra nada.

- La caída no será superior a 1m, utilizándose anclajes de seguridad para tal fin.

• Guantes de cuero para la manipulación de todos los elementos que puedan ocasionar golpes y cortes en las manos, como cables, módulos fotovoltaicos, armarios de protección, inversores, canaletas, bandejas, etc.

• Guantes aislantes.

• Calzado de seguridad que sea aislante y con suela antideslizante para evitar electrocuciones y deslizamientos.

• Trabajo en líneas sin tensión.

• Instalaciones auxiliares de obra protegidas al paso de personas o maquinaria para evitar deterioro de la cubierta aislante.

• No se permitirá la utilización directa de los terminales de los conductores como clavija de toma de corriente.

• Los empalmes y conexiones se realizarán mediante elementos apropiados debidamente aislados.

• Las escaleras de mano que se utilicen serán de tijera.

5.1.3 LUGAR DE TRABAJO.

Para el trabajo en el interior como en el exterior de la obra se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones. Deberá procurarse la estabilidad y solidez de los materiales y equipos, así como evitar el paso por superficies deslizantes sin utilización del calzado adecuado. Deberán disponerse de los servicios higiénico-sanitarios suficientes para el número de trabajadores en actividad simultánea. Estos servicios dispondrán de jabón y productos desengrasantes, si fuera necesario, así como botiquín de primeros auxilios. Todos los elementos punzantes o cortantes, situados a una altura inferior a dos metros, deberán estar debidamente protegidos y señalizados.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 63 de 73

Los lugares cerrados deberán dotarse de ventilación suficiente para evitar la concentración de humos, gases o vapores tóxicos sofocantes, así como de una ventilación adecuada y suficiente.

5.1.4 OTRAS CONSIDERACIONES.

Durante la fase de ejecución de la Obra, se emplearán las señales y dispositivos de seguridad incluidos en el Real Decreto 485/1997 de 14 de Abril, siempre que el análisis de los riesgos existentes, situaciones de emergencia previsibles y medidas preventivas adoptadas, hagan necesario:

- Llamar la atención de los trabajadores.
- Alertarlos en situaciones de emergencia.
- Facilitar localizaciones.
- Orientar en maniobras peligrosas.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 64 de 73

6 MEDICIONES.

Unidades	Concepto	Medición
ud	Modulo Fotovoltaico Conergy E175P (Vnom: 24,00 V - Pnom: 175,00 Wp) con sus correspondientes estructuras.	66,00
ud	Convertidor CC/CA Conergy WR4600 (Vsal: 230,00 V - Pmin: 3500,00 W)	3,00
ud	Caja de conexión	1,00
ud	Cuadro eléctrico ED	1,00
ud	Cuadro contadores	1,00
ud	Cuadro protección	1,00
ud	Toma de Tierra	1,00
m	Circuito, Cable H07V-U en montaje superficial bajo tubo curvable de (4x70,0+35) mm² Cu bajo tubo = 63 mm	190
m	Circuito, Cable H07V-U en montaje superficial bajo tubo curvable de (2x4,0) mm² Cu bajo tubo = 16 mm	3,26
m	Circuito, Cable H07RN-F (CC doble tubo en montaje superficial) de (2x6) mm² Cu bajo tubo = 25 mm	102
m	Circuito de protección generador FV. Cable de Cu 6 mm²	51

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 65 de 73

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 66 de 73

7 PRESUPUESTO.

CAPITULO DE MATERIALES				
Unidades	Concepto	Medición	Precio	Subtotal
ud	Modulo Fotovoltaico Conergy E175P (Vnom: 24,00 V - Pnom: 175,00 Wp) con sus correspondientes estructuras	66	682,5 €	45045,00 €
ud	Convertidor CC/CA Conergy WR4600 (Vsal: 230,00 V - Pmin: 3500,00 W)	3	2.900,00 €	8.700,00 €
ud	Caja de conexión	1	34,41 €	34,41 €
ud	Cuadro eléctrico ED	1	0,00 €	0,00 €
ud	Cuadro contadores	1	497,00 €	497,00 €
ud	Cuadro protección	1	324,00 €	324,00 €
ud	Toma de Tierra	1	10,00 €	10,00 €
m	Circuito, Cable H07V-U en montaje superficial bajo tubo curvable de (4x70,0+35) mm ² Cu bajo tubo = 63 mm	190	28,70 €	5.453,00 €
m	Circuito, Cable H07V-U en montaje superficial bajo tubo curvable de (2x4,0) mm ² Cu bajo tubo = 16 mm	3,26	1,61 €	5,25 €
m	Circuito, Cable H07RN-F (CC doble tubo en montaje superficial) de (2x6) mm ² Cu bajo tubo = 25 mm	102	4,18 €	426,36 €
m	Circuito de protección generador FV. Cable de Cu 6 mm ²	51	1,29 €	65,79 €
	TOTAL CAPITULO DE MATERIALES			60.560,81 €

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 67 de 73

CAPITULO DE MANO DE OBRA				
Unidades	Concepto	Medición	Précio	Subtotal
horas	Montaje de estructuras (oficial + ayudante)	24	30,00 €	720,00 €
horas	Montaje eléctrico (oficial + ayudante)	24	30,00 €	720,00 €
horas	Puesta en marcha	4	30,00 €	120,00 €
	TOTAL CAPITULO DE MANO DE OBRA			1.560,00 €

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 68 de 73

CAPITULO DE GASTOS				
Unidades	Concepto	Medición	Précio	Subtotal
ud	Grua	1	235,00 €	235,00 €
Km	Desplazamiento	70	1,10 €	77,00 €
ud	Boletín de instalación	1	300,00 €	300,00 €
	TOTAL CAPITULO DE GASTOS			612,00 €

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 69 de 73

RESUMEN DE PRESUPUESTO		
CAPITULO DE MATERIALES	60.560,81 €	
CAPITULO DE MANO DE OBRA	1.560,00 €	
TOTAL MATERIALES Y MANO DE OBRA		62.120,81 €
HONORARIOS PROYECTO (SOBRE MATERIALES Y MANO DE OBRA)	3,00%	1.863,62 €
GASTOS		612,00 €
TOTAL		64.596,43 €

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 70 de 73

8 ESTUDIO ECONÓMICO.

Los ingresos anuales referidos al valor monetario del año por venta de electricidad se pueden calcular en el caso más general mediante la expresión siguiente.

$$I_n = \frac{[f \cdot E_g \cdot p_c \cdot (1 + t_c)^n + (1 - f) \cdot E_g \cdot p_v \cdot (1 + t_v)^n]}{(1 + e)^n} \cdot (1 - CP)^n$$

donde:

1. In son ingresos en el año n referidos al primer año.
2. f es porcentaje de auto consumo (en España es cero por normativa).
3. Eg es energía anual generada.
4. pc es precio al que compramos nosotros la electricidad.
5. pv es precio al que vendemos nosotros la electricidad.
6. tc es tasa de variación anual del precio de compra de la electricidad.
7. tv es tasa de variación anual del precio de venta de la electricidad.
8. e es interés del dinero.
9. CP es caída de potencia anual de los módulos FV (aprox. 1%)

El balance medioambiental se puede valorar considerando que se deja de emitir a la atmósfera 0.516 Kg de CO2 por cada KWh generado.

Beneficio medioambiental por dejar de emitir a la atmósfera en Kg d CO2

7906,31

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 71 de 73

COSTES			
Total Instalación			64.596 €
Mantenimiento			0 €
Subvención CCAA	0	€/Wp	0 €
Subvención I.D.A.E.	0		0 €
PRECIO DE VENTA	0,447	€/KWH	
Coste para el cliente			64.596 €
Coste instalación por Wp	5,586	€/Wp	
Caida anual de potencia	1,00%		
Incremento de la tarifa	1,73%		
Precio del dinero	4,00%		
IPC	3,00%		
TIR(25)	5,52%		
Tiempo retorno simple	9,744	Años	

<u>Rentabilidad</u>	AÑO	Ingresos	Gastos	Flujo caja	Flujo de caja acumulado
	0	0	64596	-64596,43	-64596,43
	1	6629,46389		6629,46389	-57966,96611
	2	6419,91546		6419,91546	-51547,05065
	3	6216,99058	186	6030,7834	-45516,26725
	4	6020,47987	192	5828,68648	-39687,58077
	5	5830,18061	198	5632,63342	-34054,94735
	6	5645,89645	203	5442,42284	-28612,52451
	7	5467,43726	210	5257,85944	-23354,66507
	8	5294,61893	216	5078,75378	-18275,91129
	9	5127,26315	222	4904,92205	-13370,98924
	10	4965,19727	229	4736,18593	-8634,803316
	11	4808,25406	236	4572,37239	-4062,430931
	12	4656,27163	243	4413,3135	350,8825659
	13	4509,09315	250	4258,84627	4609,728841
	14	4366,56678	258	4108,8125	8718,541344
	15	4228,54549	265	3963,05858	12681,59992
	16	4094,88686	273	3821,43534	16503,03526
	17	3965,45299	282	3683,79793	20186,83319
	18	3840,11036	290	3550,00565	23736,83884
	19	3718,72964	299	3419,92179	27156,76063
	20	3601,18561	308	3293,41352	30450,17415
	21	3487,35698	317	3170,35172	33620,52587
	22	3377,12632	327	3050,61091	36671,13678
	23	3270,3799	336	2934,06903	39605,20581
	24	3167,00759	346	2820,6074	42425,8132
	25	3066,90275	357	2710,11054	45135,92375
	26	2375,96966	367	2008,47369	47144,39744
	27	2300,86846	379	1922,34761	49066,74505
	28	2228,14111	390	1838,26463	50905,00968
	29	2157,71257	402	1756,1398	52661,14948
	30	2089,51018	414	1675,89022	54337,0397

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"		14/01/07
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 72 de 73

Los resultados nos ofrecen un tiempo de retorno simple (inversión / producción anual) de 9.74 años mientras que la variación del flujo de caja acumulado nos lleva a unas estimaciones de 13 años.

Hay que tener en cuenta que la variación con el tiempo de la potencia de los módulos fotovoltaicos se saca de la garantía de potencia que los fabricantes aseguran. Por esta razón el tiempo de retorno de 13 años ha de tomarse como un caso peor para los supuestos económicos indicados. En el caso de no considerar este efecto de caída de potencia el tiempo de retorno de la inversión se adelanta un año.

SOLECTEL S.L.	PROYECTO: "Instalación fotovoltaica de conexión a red de 10.5 KW nominales para la EUITT-UPM"	14/01/07	
	Cod: SOL0614	Autor: Félix Jiménez	Página 73 de 73