

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. - OBJETIVOS.</b>	<b>6</b>
<b>2. - INTRODUCCIÓN.</b>	<b>6</b>
2.1.- MOTIVACIONES EN LA REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE UN INVERNADERO CON GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA...	7
2.2.- INTRODUCCIÓN AL SISTEMA DE CULTIVO EN INVERNADERO.....	7
2.2.1.- Definición.....	7
2.2.2.- Ventajas e inconvenientes.....	8
2.2.3.- Tipos de invernaderos.....	8
2.2.4.- Invernaderos multitunel.....	9
2.2.5.- Sujeciones, refuerzos y accesorios.....	10
2.2.6.- Radiación solar y transmisividad.....	10
2.2.7.- Terreno. Características y preparación.....	11
2.2.8.- Aplicaciones de los plásticos en agricultura.....	13
2.2.9.- Propiedades de los plásticos utilizados como cubierta de invernaderos.....	13
2.2.10.- Manejo y mantenimiento de los plásticos.....	16
2.3.- INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	17
2.3.1.- Definición y composición.....	17
2.3.2.- Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica.....	18
2.3.3.- Aplicaciones de los sistemas conectados a la red eléctrica.....	19
2.3.4. Posibilidades de integración.....	19
2.3.5.- Componentes básicos de la instalación.....	20
2.3.6.- Energía solar.....	25
2.3.7.- La radiación solar. Unidades.....	26
2.3.8.- Desarrollo de la energía solar fotovoltaica.....	29

2.3.9.- Vida útil de las instalaciones fotovoltaicas.....	32
2.3.10.- Rendimiento global.....	33
<b>3.- MEMORIA TÉCNICA. INVERNADERO. _____</b>	<b>34</b>
3.1.- CURIOSIDADES DEL INVERNADERO.....	34
3.2.- DIMENSIONES.....	34
3.3.- UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN DEL SOL.....	36
3.4.- CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.....	40
3.4.1.- Cimentación.....	40
3.4.2.- Cargas sobre la estructura.....	44
3.5.- PLÁSTICOS DE CUBIERTA.....	47
3.5.1.- Indicadores para la elección de un material de cobertura.....	47
3.5.2.- Material de cubierta. Polietileno.....	49
<b>4.- MEMORIA TÉCNICA. INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICAS. _____</b>	<b>51</b>
4.1.- INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA..	51
4.2.- DISEÑO DE LA CUBIERTA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	52
4.3.- COMPONENTES DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	52
4.3.1.- Placas solares.....	53
4.3.2.- Inversor.....	55
4.3.3.- Estructura.....	57
4.4.- DIMENSIONADO.....	59
4.4.1.- Número total de paneles.....	61
4.4.2.- Inclinación y orientación de los paneles solares.....	63
4.4.3.- Cálculo de sombras.....	64
4.4.4.- Conexión a la red eléctrica.....	65
4.4.5.- Cálculo de la energía generada por la instalación.....	68
4.4.6.- Resumen de la instalación.....	69
4.5.- MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN.....	70

4.5.1.- Mantenimiento a cargo del usuario.....	70
4.5.2 · Mantenimiento a cargo del servicio técnico.....	70
<b>5.- PLANOS.</b> _____	<b>72</b>
5.1.- PLANO CIMENTACIÓN PLANTA.....	73
5.2.- PLANO CIMENTACIÓN MÓDULOS DE INVERNADERO.....	74
5.3.- PLANO CIMENTACIÓN SOPORTE PLACAS SOLARES.....	76
5.4.- PLANO MÓDULOS DE INVERNADERO.....	78
5.5.- PLANO SOPORTE PLACAS SOLARES.....	79
5.6.- PLANO INVERNADERO MULTITÚNEL.....	80
<b>6.- PRESUPUESTOS.</b> _____	<b>81</b>
6.1.- PRESUPUESTO INVERNADERO.....	81
6.2.- PRESUPUESTO INSTALACIÓN SOLAR.....	83
<b>7.- ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN.</b> _____	<b>84</b>
7.1.- IMPACTO ECONÓMICO.....	84
7.1.1.- Tarifa de venta de la energía generada.....	84
7.1.2.- Balance económico y periodo de retorno de la inversión.....	85
7.2.- IMPACTO AMBIENTAL.....	86
7.3.- IMPACTO SOCIAL.....	88
<b>8.- NORMATIVA APLICABLE Y SUBVENCIONES.</b> _____	<b>89</b>
8.1.- NORMATIVA APLICABLE.....	89
8.2.- SUBVENCIONES.....	91
<b>9.- CONCLUSIONES.</b> _____	<b>93</b>
<b>10.- BIBLIOGRAFÍA.</b> _____	<b>95</b>

## **ANEXOS**

**ANEXO A: CLIMATOLOGÍA DE EL EJIDO.**

**ANEXO B: CATÁLOGOS DE LOS COMPONENTES.**

**ANEXO B.1.-** Módulo Fotovoltaico A-120 de ATERSA.

**ANEXO B.2.-** Inversor Monofásico SOLARMAX 6000 de SPUTNIK.

**ANEXO B.3.-** Estructura soporte tipo V de ATERSA.



## **1. OBJETIVO.**

El objetivo de este proyecto es el diseño y cálculo de la estructura de un invernadero del tipo multitúnel dedicado al cultivo de hortalizas, frutas y verduras y la estructura adicional para la instalación de paneles fotovoltaicos sobre parte de la misma para la captación de energía solar y su transformación en energía eléctrica. El invernadero estará situado en la ciudad de El Ejido por sus óptimas condiciones climatológicas y dispondremos de tres hectáreas de terreno para su construcción. El diseño de la estructura será del tipo modular con las modificaciones necesarias para su adaptación a las exigencias de la instalación de paneles solares fotovoltaicos.

## **2. INTRODUCCIÓN.**

La ingeniería mecánica contempla un gran abanico de posibilidades en el campo del diseño, fabricación y mantenimiento de sistemas mecánicos. Es la rama de las máquinas, equipos e instalaciones teniendo siempre en mente aspectos ecológicos y económicos para el beneficio de la sociedad.

En este caso realizaremos el diseño y cálculo de la estructura de un invernadero, el cual nos proporcionará un microclima apropiado óptimo para el cultivo. El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de primor, de calidad y mayores rendimientos en cualquier momento del año a la vez que permiten alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de gestión del clima, etc., que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

En la década de los sesenta se incrementó notablemente la superficie dedicada al cultivo de hortalizas, frutas y verduras en Almería. A medida que se fueron mejorando las condiciones de cultivo con el enarenado, túneles de forzado, invernaderos, riego por goteo, utilización de insectos polinizadores, etc., se iba, de un modo paulatino, consiguiendo precocidad en la recolección de una gran variedad productos hortofrutícolas.

El interés del agricultor en conseguir cada campaña el producto más temprano ya que los precios del fruto son mayores a medida que se aparecía y se dispone de ellos antes en el mercado. Para ello había que adelantar las fechas de siembra y plantación.

Con el panorama expuesto se estaba cambiando rendimiento en la producción por precio más elevado. Cuanto más temprano se realiza la plantación, la ocupación del suelo en tiempo es mayor y los costes económicos del cultivo también. Una plantación temprana obliga a dar una serie de tratamientos al suelo con cultivo implantado que no es necesario hacer en cultivos de temporada ya que las condiciones del suelo son más propicias para el desarrollo de ciertos agentes patógenos.

## **2.1. MOTIVACIONES EN LA REALIZACION DE UN PROYECTO DE INVERNADERO CON GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA FOTOVOLTAICA.**

Actualmente, en España y más concretamente en Almería, encontramos unas condiciones óptimas en lo que se refiere a la climatología, mano de obra especializada, tierra para el cultivo, infraestructuras, etc...

Mi familia materna se ha dedicado siempre a la agricultura y desde hace unos años al cultivo de hortalizas en invernaderos de la provincia de Almería, más concretamente en El Ejido. La provincia de Almería cuenta con aproximadamente 20.000 hectáreas de terreno cultivado mediante la técnica de los invernaderos.

Personalmente siempre me ha parecido muy atractiva la idea de construir un invernadero propio en el que yo definiría las dimensiones, las características del mismo, los materiales con los que lo construiríamos y la instalación de un sistema de placas solares fotovoltaicas capaces de captar las radiaciones solares y gracias al convertidor, transformarlas en energía eléctrica que posteriormente venderemos a la compañía que nos suministra electricidad.

El sistema de cultivo hortofrutícola en invernaderos está muy extendido por todo el territorio español, sobretodo en Andalucía, lo que no es tan común es la instalación de paneles solares sobre invernaderos. Es un pequeño granito de arena en mejora y aumento de las energías renovables en nuestro país.

Con este proyecto se abre un camino para todos aquellos agricultores que dispongan de unos terrenos donde se cultive a través de invernadero, a realizar una instalación solar fotovoltaica capaz de generar energía eléctrica tanto en lugares aislados como en lugares que se pueden abastecer de electricidad gracias al tendido eléctrico.

Aunque sean necesarios unos trámites burocráticos y una inversión inicial por parte del propietario, existen subvenciones por parte de las Administraciones a nivel local y nacional que hacen más fácil la instalación del paquete fotovoltaico, sin contar la rápida amortización (dependiendo de la instalación solar fotovoltaica) de la inversión inicial.

## **2.2. SISTEMA DE CULTIVO EN INVERNADERO.**

### **2.2.1. DEFINICIÓN.**

Por definición un invernadero es un conjunto formado por estructura ligera y cubierta que permite la protección y/o crecimiento de las plantas mediante el uso de energía solar y la defensa contra el frío y otras condiciones climáticas adversas. Las dimensiones del recinto permiten a una persona trabajar cómodamente en su interior.

Hasta no hace mucho tiempo las empresas que se dedicaban a la construcción de este tipo de invernaderos, debían importar los diversos elementos de otros países con el consiguiente coste económico. Existía otro inconveniente como era, que las estructuras que se fabricaban en otros países no se adaptaban a las peculiaridades geográficas o climatológicas de otras zonas. Actualmente, estos problemas se han solventado, ya que existen muchas empresas dedicadas a

la construcción de estos tipos de invernaderos, realizando invernaderos perfectamente adaptados a cada zona y... mucho más baratos.

### **2.2.2. VENTAJAS E INCONVENIENTES.**

En esta estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas, destacan las siguientes ventajas, algunas ya comentadas:

- Precocidad en los frutos.
- Aumento de la calidad y del rendimiento.
- Producción fuera de época.
- Ahorro de agua y fertilizantes.
- Mejora del control de insectos y enfermedades.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.

Y los inconvenientes que existen son:

- Alta inversión inicial.
- Alto costo de operación.
- Requiere personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos.

### **2.2.3. TIPOS DE INVERNADEROS.**

Los invernaderos se pueden clasificar de distintas formas, según se atienda a determinadas características de sus elementos constructivos (por su perfil externo, según su fijación o movilidad, por el material de cubierta, según el material de la estructura, etc.). La elección de un tipo de invernadero está en función de una serie de factores o aspectos técnicos:

- Tipo de suelo. Se deben elegir suelos con buen drenaje y de alta calidad aunque con los sistemas modernos de fertirriego es posible utilizar suelos pobres con buen drenaje o sustratos artificiales.
- Topografía. Son preferibles lugares con pequeña pendiente orientados de norte a sur.
- Vientos. Se tomarán en cuenta la dirección, intensidad y velocidad de los vientos dominantes.
- Exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo.
- Características climáticas de la zona o del área geográfica donde vaya a construirse el invernadero.
- Disponibilidad de mano de obra (factor humano).
- Imperativos económicos locales (mercado y comercialización).

Según la conformación estructural, los invernaderos se pueden clasificar en:

- Planos o tipo parral.
- Tipo raspa y amagado.
- Asimétricos.
- Capilla (a dos aguas, a un agua).
- Doble capilla.
- Tipo túnel o semicilíndrico.
- De cristal o tipo Venlo.

En este caso nos decantaremos por la construcción de un invernadero tipo túnel en el que se contará con varios módulos.

#### **2.2.4. INVERNADERO MULTITUNEL.**

Este tipo de invernadero se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos. Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5x8 o 3x5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3,5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2,5 a 4 m.

El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 m y permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero o bien, aperturas específicas en los laterales del invernadero que proporcionan un paso de aire controlado.

Ventajas de los invernaderos tipo túnel:

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

Inconvenientes:

- Elevado coste.
- No aprovecha el agua de lluvia.



**INVERNADERO MODULAR TIPO MULTITUNEL**

### **2.2.5. SUJECIONES, REFUERZOS Y ACCESORIOS.**

Los invernaderos multitúnel al ser tan altos, deben poseer diferentes mecanismos para poder sujetar bien el plástico, así como la estructura.

Los invernaderos que se están construyendo actualmente tienen una gran resistencia. El viento, la lluvia y la misma carga del cultivo sobre la estructura, hacen que las estructuras sean cada vez más firmes y con mayor resistencia. Las resistencias de las estructuras se calculan por ordenador, por lo que los materiales son de acero con un recubrimiento de galvanizado. La fijación de las uniones se realiza con tornillos igualmente de acero.

### **2.2.6. RADIACIÓN SOLAR Y TRANSMISIVIDAD.**

Las condiciones de radiación solar en invernadero son muy importantes desde el punto de vista productivo, no solo cuantitativamente sino también cualitativamente. Las características ópticas de la cubierta del invernadero pueden modificar significativamente la calidad de la radiación (espectro de distribución o proporción de radiación difusa) afectando a los cultivos, principalmente en cuanto a la eficiencia de uso de la radiación y a sus efectos fotomorfogénicos y sobre los insectos y microorganismos del invernadero.

La abundancia de días despejados, en los que la radiación directa prevalece sobre la difusa, es una característica del clima de nuestra costa mediterránea que, junto a sus suaves temperaturas invernales, lo diferencian del clima de otras áreas de invernaderos donde predomina la radiación difusa (días nublados), especialmente en otoño e invierno.

La fracción de radiación solar global transmitida dentro de un invernadero es designada como *transmisividad* global del invernadero. Han sido ampliamente documentadas las limitaciones productivas que implican los bajos niveles de radiación dentro de invernadero en otoño e invierno en la costa mediterránea española, en cultivos de hortalizas que son exigentes en luz. Maximizar la radiación dentro de invernadero es, por tanto, un objetivo deseable en nuestras latitudes, especialmente en otoño e invierno.

Dicha transmisividad es función, entre otros factores, de las condiciones climáticas (nubosidad, principalmente, que determina la proporción de radiación directa y difusa), de la posición del Sol en el cielo (que dependerá de la fecha y hora del día y de la latitud del lugar), de la geometría de la cubierta del invernadero, de su orientación (este-oeste, norte-sur,...), del material de cerramiento (características ópticas y radiométricas, estado de limpieza, condensación de agua en el interior,...) y de los elementos estructurales y equipos del invernadero que limitan al sombrear, la radiación dentro del invernadero.

La transmisividad a la radiación solar directa variará en función del ángulo de incidencia (que forman el rayo solar y la perpendicular a la cubierta del invernadero), siendo mayor dicha transmisividad cuanto menor sea dicho ángulo, es decir, cuanto más perpendicularmente incida la radiación sobre la cubierta del invernadero. En época invernal el techo plano es claramente más desfavorable a la transmisión de luz. A partir de una pendiente de 10° la transmitancia empieza a crecer de una manera acusada, situándose el punto óptimo entre 20° y 30° de pendiente. Tanto en primavera como en verano, la influencia de la pendiente en la transmisividad disminuye. En Junio no hay prácticamente diferencia entre el techo plano y el inclinado 45°.

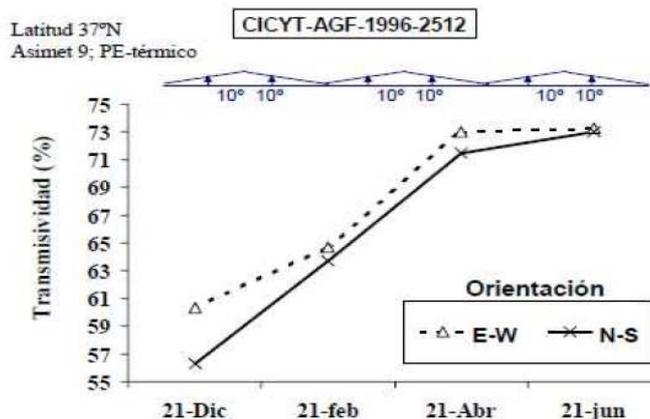


Figura 2. Transmisividad media (%) a la radiación solar directa según la orientación de la cubierta (N-S, E-W) en un invernadero simétrico (ángulo de cubierta: 10°) según el mes de año.

Las diferencias en transmisividad según su orientación (Este-Oeste o Norte-Sur) en días soleados son escasas, incluso en el solsticio de invierno, si los invernaderos son de baja pendiente (10°).

La transmisividad global media (fracción de radiación global exterior que penetra en el invernadero) debe integrarse como valor medio en todo el invernadero, dada la variabilidad a que están sometidos los diversos puntos del invernadero en cuanto a radiación (por su situación, por diferencias de sombreado de los elementos estructurales y de los equipos,...) en días despejados, cuando predomina la radiación directa. En días completamente nublados, cuando toda la radiación solar es difusa (ausencia de sombras definidas, por su carácter adireccional) la distribución de radiación es más homogénea dentro de invernadero.

En invernaderos de cubierta curva (multitúnel), de mayor nivel tecnológico en cuanto a sus posibilidades de equipamiento que los invernaderos tipo parral, la orientación este-oeste induce una mayor transmisividad que la orientación norte-sur, especialmente relevante en otoño e invierno. Como contrapartida, la orientación norte-sur tiene mayor uniformidad de radiación dentro del invernadero, al igual que ocurre en los tipo parral.

### 2.2.7. TERRENO. CARACTERÍSTICAS Y PREPARACIÓN.

Hasta finales del siglo pasado, el Poniente de Almería era una llanura esteparia azotada por vientos huracanados, con raquíuticos pastos aprovechados por algunos rebaños de ovejas y cabras. Debido a su aridez, estos terrenos eran inadecuados para los cultivos, además de ser castigados periódicamente por plagas de langosta procedentes del Norte de África.

En algunos lugares frescos y en las proximidades de la playa se sembraban en seco guisantes, tomates, etc., teniendo que recurrir el agricultor al cacharreo, con agua transportada en cántaros para favorecer la nascencia, enraizamiento y primer desarrollo de los cultivos.

A partir de 1.957 el desarrollo de los enarenados fue espectacular como consecuencia de las ventajas que presenta esta técnica, permitiendo en aquellos años obtener producciones rentables, aprovechando suelos y agua de mala calidad. Sin embargo con ser muchas las ventajas de los enarenados, también presentaban graves inconvenientes como la insuficiente protección contra los vientos huracanados y las bajas temperaturas que con frecuencia assolaban los cultivos. Para intentar mitigar dichos problemas, se comenzaron a introducir los acolchados con láminas de plástico.

Los terrenos aptos para estos cultivos, se encuentran en las laderas meridionales de las serranías que bordean las zonas costeras almerienses. Podemos distinguir tres tipos de suelos:

- Lastrales: definidos por la existencia de una capa superficial de conglomerados con cemento calizo, con espesor variable, muy permeable por fisuración.
- Conos de deyección de ramblas: son terrenos muy lavados y muy permeables, con abundancia de cantos rodados, de diámetros superiores a los 25 cm.
- Suelos franco-arenosos o franco-limosos: constituidos por los elementos finos depositados por las ramblas, ya sea de modo natural o bien logrado artificialmente mediante el riego con aguas turbias.

Estercolado y arenado. La siguiente fase es preparar el terreno para el cultivo, para lo cual se incorpora al suelo ya preparado una capa de tierra de 30 cm traída de cañadas o canteras de la zona, de textura arcillosa, con la intención de mejorar la capacidad de retención de agua y nutrientes.

Sobre esa capa se aporta materia orgánica generalmente estiércol en dos fases, una primera en la que se incorpora unos 5 Kg/m<sup>2</sup> que se mezcla con la tierra mediante una labor de cultivador o fresadora, añadiendo a continuación en la segunda fase otros 5 Kg/m<sup>2</sup> que se extienden sobre el suelo, esta vez sin mezclar, formando una lámina de 5 mm de espesor.

Por último, sobre la materia orgánica se añade arena, normalmente una capa de 10 cm. de granulometría variable, abarcando desde 0,2 mm. hasta 6 mm. de diámetro.

### *SUSTRATOS*

Otro sistema de cultivo consiste en el establecimiento de distintos sustratos, en sustitución del suelo natural. Los principales tipos de sustratos van a ser la perlita y la lana de roca, aunque existen otros como pueden ser la fibra de coco, vermiculita, etc.

### *LANA DE ROCA*

Se trata de un producto mineral transformado industrialmente por temperaturas elevadas. Básicamente, es un silicato de aluminio que también contiene algo de calcio y magnesio, y en menor proporción, hierro y manganeso.

La fabricación de lana de roca se realiza a partir de una mezcla de rocas basálticas, piedra caliza, y carbón de coque, en relación 3-1-1, que se funde a 1.600°C. La masa fundida se lanza sobre unas ruedas giratorias, de donde sale expandida en forma de fibra de 0,005 mm de grosor. Las fibras se comprimen en bloques o planchas de diferentes tamaños y características, o se granulan.

La lana de roca es un material que presenta una baja densidad aparente (0,08 g/cm<sup>3</sup>, una porosidad total elevada (>95%), una alta capacidad de retención de agua fácilmente disponible (50%) y una alta capacidad de aireación (40 a 45%). Su capacidad como contenedor depende estrechamente del espesor y de la forma de plancha o tabla.

### *PERLITA*

Es básicamente un silicato de aluminio de origen volcánico, proviene de las rocas volcánicas vítreas, que se han formado por enfriamiento rápido, constituyendo un material amorfo que contiene entre un 2 y un 5% de agua combinada.

En su tratamiento industrial, este material se fragmenta en partículas de pequeño tamaño, se precalienta a 300-400 °C y se deposita en hornos a 1.000 °C. El agua combinada se evapora rápidamente, expandiéndose el producto para formar un material particulado, con una densidad aproximada de 128 Kg/m<sup>3</sup>, cuando la roca original era de 1.500 Kg/m<sup>3</sup>.

La perlita conforma una estructura celular cerrada. Su superficie es rugosa y contiene numerosas indentaciones, lo que proporciona una gran área superficial, permitiéndole retener agua en su superficie.

### **2.2.8. APLICACIONES DE LOS PLÁSTICOS EN AGRICULTURA.**

Los plásticos han permitido convertir tierras aparentemente improductivas en modernísimas explotaciones agrícolas. Ejemplo de ello es la provincia de Almería, que de una agricultura de subsistencia ha pasado a contar con una gran concentración de invernaderos que la hacen modelo del desarrollo agrícola en muchas partes del mundo.

En Almería se encuentra la mayor concentración de invernaderos del mundo, unas 20.000 ha cubiertas por plástico y que han permitido la producción de hortalizas en territorios prácticamente desérticos; así el valor de la producción hortofrutícola en Almería ha pasado de 9.500 millones de pesetas en 1975 a los más de 10.000 millones de euros en 2008.

El plástico en agricultura se utiliza en invernaderos, macrotúneles, microtúneles, acolchados, mallas, en el control de plagas (plásticos fotoselectivos), en el control de enfermedades (solarización), en el riego, etc.

### **2.2.9. PROPIEDADES DE LOS PLÁSTICOS UTILIZADOS COMO CUBIERTA DE INVERNADEROS.**

El plástico del techo del invernadero, se divide cada cuarenta metros con piezas omega curvas para sectorizarlo, y en caso de rotura no tener que cambiar todo el túnel. En las bandas se está colocando tela plastificada, que llevan unas hebras de refuerzo por lo que son también más resistentes que el plástico y tienen una gran durabilidad. Se están colocando también placas de policarbonato onduladas en las bandas, con lo que el refuerzo en estas es mayor todavía.

#### *PROPIEDADES FÍSICAS.*

La elección de un determinado material de cubierta influirá en el tipo de estructura del invernadero, es decir, determinará el peso que debe soportar la estructura por tanto el espacio que debe haber entre pilares, barras de soporte, correas, distancia entre canal y cumbre y forma del techo.

- **Peso.** Los filmes de plástico tienen poco peso lo que reduce su exigencia en estructuras y por tanto aumenta la uniformidad de la luz en el interior al reducir el sombreo. Los materiales rígidos además de un peso mayor acostumbran a tener un tamaño más reducido con lo cual requieren un mayor número de soportes, y influirá también en una menor estanqueidad.

- **Densidad.** Informa sobre la cristalinidad de los polímeros. Ésta modifica la flexibilidad,

permeabilidad y propiedades térmicas del polímero. Una densidad baja facilita la manipulación y el transporte unido o un menor precio.

- **Espesor.** Las unidades de medida serán milímetros generalmente utilizados para vidrio y plásticos rígidos y micras o galgas para los filmes, 100 m equivalen a 400 galgas. En filmes el espesor recomendado para proteger el cultivo en las bajas temperaturas es de 200 - 800 galgas.

- **Resistencia** a la rotura (especialmente en zonas de granizo, nieve o viento), resistencia a la deformación por altas temperaturas, resistencia a la rotura por bajas temperaturas.

- **Envejecimiento.** El envejecimiento de los materiales utilizados como cubierta en invernadero viene determinado por la degradación de sus propiedades físicas, radiométricas y mecánicas.

a) *Envejecimiento Físico.* El seguimiento de la degradación física de los materiales se puede realizar regularmente por una simple observación que revele la aparición de desgarraduras en láminas plásticas y mallas de sombreo, desprendimiento de la capa de aluminio en pantallas térmicas, fractura de la muestra en materiales rígidos, etc.

b) *Envejecimiento Radiométrico:* Un procedimiento sencillo para determinar los cambios en la transmisión de luz de un material, debidos a la acción de los rayos solares, es medir periódicamente la radiación fotosintética activa (PAR) comprendida entre 400 y 700 nm, que es primordial para las plantas, ya que condiciona su rendimiento. Esta medida hecha tanto al aire libre como bajo el material de cubierta, nos informa de las variaciones en la capacidad de éste para transmitir el máximo de luz.

DURACIÓN DE PLÁSTICOS NORMALIZADOS PARA INVERNADEROS			
Tipo de plástico	Espesor	Duración (en Almería)	Radiación solar recibida
Polietileno "normal" (sin aditivos)	150 micras (600 galgas)	6-8 meses	< 148 kcal/cm <sup>2</sup>
Polietileno "larga duración"	180 micras (720 galgas)	2 años	296 kcal/cm <sup>2</sup>
Polietileno "Térmico larga duración"	200 micras (800 galgas)	2 años	296 kcal/cm <sup>2</sup>
Copolímero EVA (12 % AV)	200 micras (800 galgas)	2 años	296 kcal/cm <sup>2</sup>
Copolímero EVA (6 % AV)	100 micras (400 galgas)	1 año	148 kcal/cm <sup>2</sup>

*PROPIEDADES ÓPTICAS. TRANSMISIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.*

- **Transmitancia.** Es la propiedad de los materiales de dejar pasar la radiación solar, se expresaría como la relación entre la radiación en el interior del invernadero y la medida simultáneamente en el exterior. La transmisión depende del ángulo de incidencia de la cubierta.

**PROPIEDADES TÉRMICAS Y COMPORTAMIENTO TÉRMICO.**

La capacidad de protección contra el frío de un material depende por un lado de su transmitancia para la radiación IR larga, y por otro de las pérdidas por conducción y convección a su través. En condiciones estables en laboratorio se mide un coeficiente K global de pérdidas caloríficas, que expresa el conjunto de pérdidas radiantes, convectivas y conductivas, y que permite comparar unos materiales con otros.

**CARACTERÍSTICAS COMPARADAS DE LOS PRINCIPALES MATERIALES PLÁSTICOS UTILIZADOS EN CUBIERTA DE INVERNADERO.**

	FLEXIBLES		RÍGIDOS			
	Polietileno	PVC	PVC ondulado	Polimetacrilato de metilo	Poliéster estratificado	Cristal
<b>Características</b>	(0,08 mm)	(0,1 mm)	(1-2 mm)	(4 mm)	(1-2 mm)	(2,7 mm)
<b>Densidad</b>	0,92	1,3	1,4	1,18	1,5	2,40
<b>Índice de refracción</b>	1,512	1,538	-	1,489	1,549	1,516
<b>% de dilatación antes de que se rompa</b>	400-500	200-250	50-100	escasa	escasa	nula
<b>Resistencia al frío y calor</b>	-40+50° C	-10+50° C	-20+70° C	-70+80° C	-70+100° C	muy elevada
<b>Duración</b>	2 años	2-3 años	elevada	elevada	elevada	elevada
<b>Transparencia % (0,38-0,76 micrones)</b>	70-75	80-87	77	85-93	70-80	87-90
<b>Transmisión % (-0,24-2,1 micrones)</b>	80	82	82	73	60-70	85
<b>Transmisión % (7-35 micrones)</b>	80	30	0	0	0	0

**PLÁSTICOS FLEXIBLES.**

Son materiales sintéticos, compuestos generalmente por moléculas orgánicas con un elevado peso molecular. Son termoplásticos, es decir, permiten ser sometidos a diferentes ciclos térmicos pudiendo ser fundidos y solidificados tantas veces como sea necesario. Son materiales ligeros, de fácil transporte y manipulación.

Dentro de los plásticos flexibles:

### *Polietileno (PE).*

Es el plástico flexible más empleado actualmente para forzado de cultivos en invernaderos, túneles y acolchado. Esto se debe principalmente a su bajo precio, a sus buenas propiedades mecánicas, y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones. El PE junto al polipropileno (PP) y al PVC, son los termoplásticos de más consumo.

Es un derivado de la hulla y del petróleo y se obtiene mediante la polimerización del etileno utilizándose en su fabricación varios procesos y sistemas catalíticos. La mayor parte del PE para invernaderos se fabrica por el proceso de alta presión y catálisis de radicales libres mediante peróxidos.

### **2.2.10. MANEJO Y MANTENIMIENTO DE LOS PLÁSTICOS.**

Existen diversos factores que influyen en la duración de un plástico:

- Radiaciones ultravioleta. A mayor luz, más degradación por los rayos ultravioletas. También influye la orientación de la lámina en la exposición al sol. Si el material está tratado con productos antioxidantes e inhibidores a la acción de los ultravioletas, la duración es mayor.
- Temperatura a la que está sometido el plástico.
- Colocación de la lámina sobre la estructura. Plásticos excesivamente tensados pueden desgarrarse por rociamiento con los bordes de los soportes.
- Tipo y estado de la estructura. Las películas se degradan siempre sobre la estructura. La causa es la elevada temperatura que puede alcanzar un tubo expuesto al sol. Las reacciones químicas se aceleran a temperaturas elevadas. Debido a ello, la duración de una película sobre un soporte metálico se reduce en la práctica en un 40%. Sobre los alambres se acumula también agua de condensación que contiene residuos de pesticidas. El contacto prolongado con estos residuos en los alambres combinados con las altas temperaturas allí existentes, provoca la ruptura de la película.
- Calidad de la lámina, que viene definida por la calidad de la materia prima o granza, propiedad, cantidad, calidad y dispersión de los aditivos empleados y la uniformidad en el espesor de la lámina. La duración es mayor cuanto más grueso es el plástico.
- Régimen de vientos. Plásticos poco tensados pueden ser desplazados por el viento.
- Productos fitosanitarios. El azufre e insecticidas azufrados o halógenos (clorados) causan daños a los laminados de polietileno. Estos daños o erosión del plástico se producen al pulverizar insecticidas con un rociador, por lo que hay que tomar las precauciones necesarias y no pulverizar directamente sobre el mismo. La mayoría de los pesticidas se fabrican con compuestos fotodegradables que permiten al agricultor iniciar rápidamente la siembra. Ello origina cantidades más altas de radicales sobre la superficie de la película, que pueden interaccionar negativamente con los aditivos que componen el plástico.

Por todo esto a continuación se recogen una serie de recomendaciones y consejos útiles que pueden ayudar a alargar la vida de los plásticos:

#### *a. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO.*

- No arrastrar las bobinas ni rozar sus bordes.

- Apoyarlas sobre una superficie lisa y sin salientes.
- No colocar sobre las bobinas objetos pesados, duros o punzantes.
- Guardar las bobinas en un lugar oscuro y seco.

#### *b. COLOCACIÓN DEL PLÁSTICO.*

- No rodar la bobina por el suelo.
- No colocar los plásticos durante las horas de máximo calor para evitar su excesiva dilatación.
- Al instalar los laminados de tres capas, verificar que la parte exterior del laminado quede por encima del invernadero, de acuerdo a los pliegues e instrucciones de instalación dadas por el fabricante.
- No tensar excesivamente los plásticos sobre las estructuras ya que se puede reducir su espesor y duración.
- Revisar el invernadero antes de instalar el plástico. Si los soportes son de madera, proteger la parte que esté en contacto con el plástico con pintura acrílica base acuosa. Cambiar los alambres oxidados, puntas o astillas de palo.
- Sujetar bien el plástico para que no sea desplazado por el viento.

#### *c. DURANTE EL CULTIVO.*

- Si se realiza desinfección del suelo, se recomienda usar técnicas de solarización antes de la instalación de la nueva cubierta.
- Realizar los tratamientos necesarios y ventilar el invernadero de forma apropiada para evitar que los productos fitosanitarios se fijen en el plástico.
- Para la eliminación de encalados se recomienda el empleo de agua a presión y no emplear ácidos.
- Traslado de los plásticos deteriorados a los centros de recogida apropiados.

## **2.3. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.**

### **2.3.1. DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN.**

Los sistemas fotovoltaicos transforman la energía radiante del sol en energía eléctrica. Este proceso de transformación se produce en un elemento semiconductor que se denomina *célula fotovoltaica*. Cuando la luz del sol incide sobre una célula fotovoltaica, los fotones de la luz

solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor para que así puedan circular dentro del sólido. La tecnología fotovoltaica consigue que parte de estos electrones salgan al exterior del material semiconductor generándose así una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo.

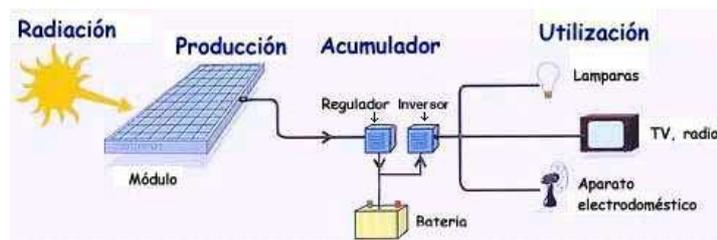
Para hacer posible el manejo práctico de las células fotovoltaicas, estas se presentan asociadas eléctricamente entre sí y encapsuladas en un bloque llamado panel o módulo fotovoltaico, que constituye el elemento básico para la producción de electricidad. Normalmente, un módulo fotovoltaico está formado por unas 36 células, teniendo diferentes medidas que oscilan desde el 0,5 m<sup>2</sup> hasta 1 m<sup>2</sup>, el grosor también oscila ente 3,5 cm y 5 cm.

El módulo fotovoltaico estará compuesto por unos conjuntos de células solares conectadas entre sí en serie y paralelo hasta conseguir el voltaje adecuado para su utilización, este voltaje suele ser de 12V aunque a plena radiación solar y 25°C de temperatura suele ser de 15V a 17V. El conjunto de células está envuelto por unos elementos que le confieren protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que lo soportan.

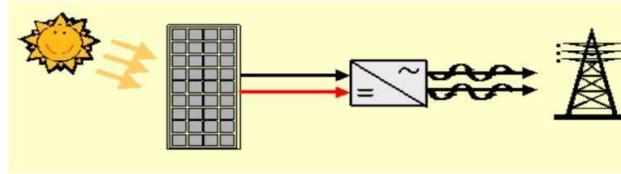
### 2.3.2. APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Existen dos formas de utilizar la energía eléctrica generada a partir del efecto fotovoltaico:

- a- Primeramente encontramos *instalaciones aisladas de la red eléctrica*, que son sistemas en las que la energía generada se almacena en baterías para poder disponer de su uso cuando sea preciso. Estos sistemas se emplean sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo.



- b- En segundo lugar, encontramos las *instalaciones conectadas a la red eléctrica convencional*, en las que toda la energía generada se envía a la red eléctrica convencional para su distribución donde sea demandada. Debido a que la instalación fotovoltaica objeto del presente proyecto corresponde a esta segunda tipología, en adelante se presentaran en detalle los sistemas conectados a la red eléctrica.



En este proyecto, al tratarse de una instalación que no se encuentra aislada de la red de suministro eléctrico, nos decantaremos por diseñar una instalación conectada a la red eléctrica.

### 2.3.3. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA

Las principales aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica convencional son las siguientes:

- **Sistemas sobreexpuestos en tejados de edificios.** Son sistemas modulares de fácil instalación donde se aprovecha la superficie de tejado existente para sobreponer los módulos fotovoltaicos. El peso de los paneles sobre el tejado no supone una sobrecarga para la mayoría de los tejados existentes.
- **Plantas de producción.** Son aplicaciones de carácter industrial que pueden instalarse en zonas rurales no aprovechadas para otros usos o sobrepuestas en grandes cubiertas de áreas urbanas (aparcamientos, zonas comerciales, áreas deportivas, etc...)
- **Integración en edificios.** Esta aplicación tiene como principal característica ser un sistema fotovoltaico integrado en la construcción, de modo que los paneles solares quedan tanto estructural como estéticamente integrados en la cubierta del edificio.

### 2.3.4. POSIBILIDADES DE INTEGRACIÓN.

Cada vez son más numerosas las formas de situar sobre edificios campos fotovoltaicos con funciones diversas además de la estrictamente energética:

- Tejado fotovoltaico: sustituye el acabado final y, en algunos casos, la impermeabilización.
- Tejado en dientes de sierra: la vertiente sur es fotovoltaica y la norte puede ser opaca o permitir la entrada de luz cenital.
- Fachada: el campo solar puede recubrir totalmente la fachada.
- Tejado plano: se pueden situar hileras de placas paralelas, a una distancia adecuada para no producir sombras entre sí.
- Atrio: cubierta entre dos edificios.
- Pérgolas, porches, voladizos.
- Franjas fotovoltaicas a lo largo de la fachada, alternando con franjas transparentes.
- Lamas de sombreado: situadas encima de las ventanas, permiten evitar la entrada de radiación directa en verano.

- Fachada inclinada: en forma de invernadero, para cerramientos fotovoltaicos semitransparentes.
- Lamas o parasoles de inclinación variable.

Los fabricantes de placas fotovoltaicas han empezado a suministrar variantes de placas y de células para atender las demandas de los arquitectos solares. Para ello se han desarrollado modelos con variantes de tonos, colores, formas de células, así como sistemas de fijación que permitan adoptar diversas soluciones o mejoras estéticas.



**ELEMENTO SOBREPUESTO EN TEJADO.**



**INTEGRADO: CUBIERTA SEMITRANSARENTE**



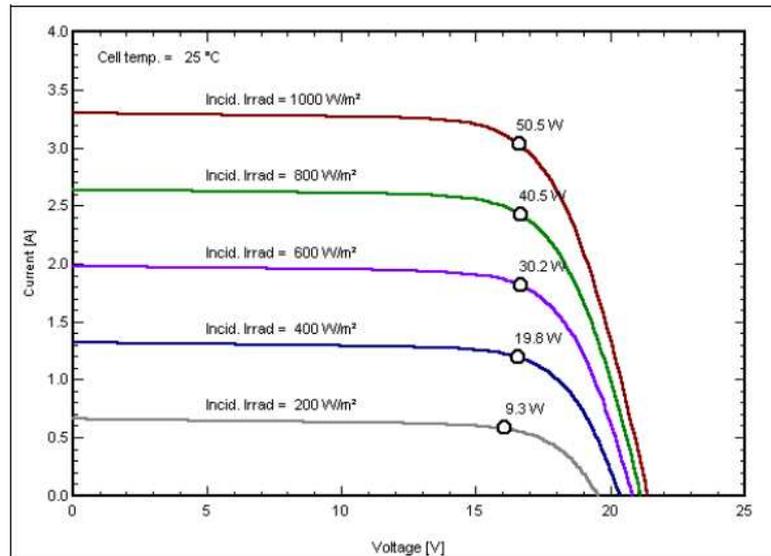
**INTEGRADO-CERRAMIENTO: FACHADA SEMITRANSARENTE.**

### **2.3.5. COMPONENTES BÁSICOS DE LA INSTALACIÓN.**

El auge de las energías renovables, potenciado por los compromisos internacionales para el desarrollo sostenible, está teniendo un gran impacto en el desarrollo de la energía solar en España. Además, con un marco normativo que incentiva y apuesta por esta fuente de energía, han convertido al sector de la energía solar en uno de los más productivos del panorama actual.

## PLACAS SOLARES

Los paneles solares son el elemento de generación eléctrica y se pueden disponer en serie y/o paralelo para obtener la tensión nominal requerida en cada caso. Estos paneles están formados por un nº determinado de células que están protegidas por un vidrio, encapsuladas sobre un material plástico y todo el conjunto enmarcado con un perfil metálico.

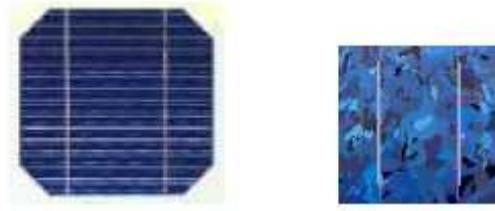


MÓDULO FOTOVOLTAICO

CURVA CARACTERÍSTICA DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO DE 50WP

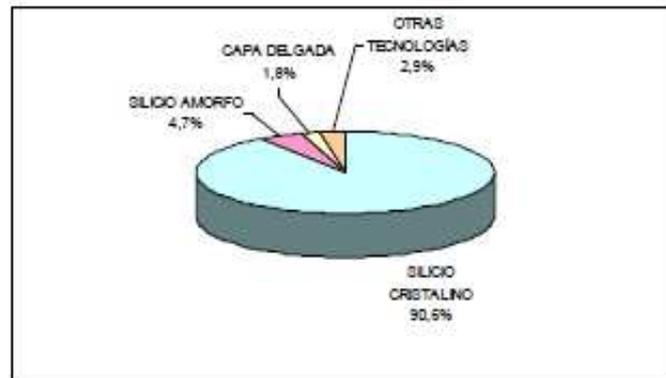
La materia prima para la fabricación de las células fotovoltaicas más utilizada actualmente es el silicio. El silicio es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno, dado que la combinación de ambos forma el 60% de la corteza terrestre. El silicio utilizado actualmente en la fabricación de las células que componen los módulos fotovoltaicos se presenta en tres formas diferentes:

- **Silicio monocristalino.** En este caso el silicio que compone las células de los módulos es un único cristal. La red cristalina es la misma en todo el material y tiene muy pocas imperfecciones. El proceso de cristalización es complicado y costoso, pero sin embargo, es el que proporciona la mayor eficiencia de conversión de luz en energía eléctrica. Rendimiento de los módulos de silicio monocristalino del 13-15%
- **Silicio policristalino.** El proceso de cristalización no es tan cuidadoso y la red cristalina no es la misma en todo el material. Este proceso es más barato que el anterior pero se obtienen rendimientos ligeramente inferiores, del 11%.



### CÉLULAS DE SILICIO MONOCRISTALINO Y POLICRISTALINO

• **Silicio amorfo.** En el silicio amorfo no hay red cristalina y se obtiene un rendimiento inferior a los de composición cristalina. Sin embargo posee la ventaja, además de su bajo coste, de ser un material muy absorbente por lo que basta una fina capa para captar la luz solar. Rendimientos del 7%.



CUOTA MUNDIAL DE PRODUCCIÓN DE TIPO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS 2006

Actualmente también existen otras tecnologías o procesos de aceptable rendimiento no todas basadas en el silicio, que se encuentran en fase de desarrollo en laboratorio o iniciando su fabricación en pequeñas plantas. Este es el caso del telurio de cadmio, arseniuro de galio, células bifaciales, etc.

Los paneles solares fotovoltaicos pueden exponerse directamente a la intemperie ya que las partes eléctricas se encuentran aisladas del exterior. Tienen un peso aproximado de 15kg/m<sup>2</sup> más el peso de la estructura soporte que es de aproximadamente de 10kg/m<sup>2</sup> lo que no supone un exceso de carga para la mayoría de las cubiertas existentes. Es importante a la hora de su colocación y sujeción, tener en cuenta la orientación de los paneles y el efecto del viento sobre los mismos.

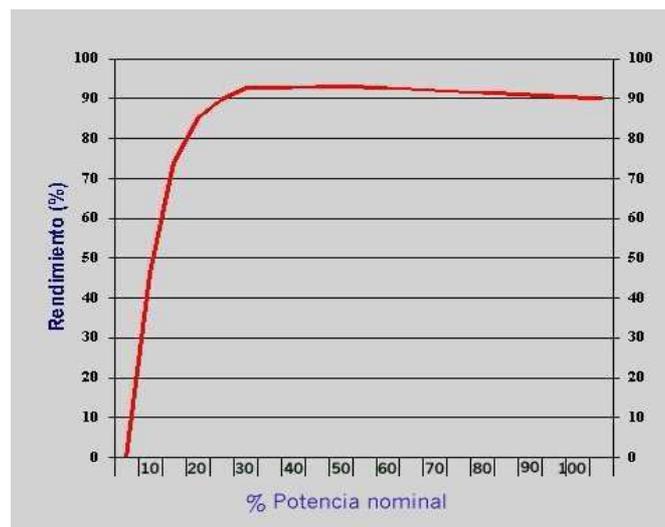
Los módulos fotovoltaicos actualmente se comercializan con potencias entre los 50-200 W<sub>p</sub>, aunque algunos fabricantes ofrecen módulos con potencias picos superiores. En términos generales sus tamaños oscilan entre 0,5 y 1 m<sup>2</sup> y su durabilidad se estima en más de 30 años.

## INVERSOR

Este dispositivo fundamental de un sistema fotovoltaico conectado a red funciona como interfase entre el generador fotovoltaico y la red eléctrica. De este modo, el sistema fotovoltaico conectado a red forma parte de los sistemas de generación que alimentan dicha red. El inversor debe seguir la frecuencia a la tensión correspondiente de la red a la que se encuentre conectado. La forma de onda de la corriente de salida del inversor deberá ser lo más senoidal posible para minimizar el contenido en armónicos inyectados en la red.

Ya que la potencia disponible del generador fotovoltaico varía con la irradiación y temperatura de trabajo de las células que lo componen, el inversor deberá extraer la máxima potencia posible del generador fotovoltaico. Esto se consigue con un dispositivo que normalmente suelen incorporar este tipo de equipos, denominado “seguidor del punto de máxima potencia”, dispositivo electrónico incorporado en el inversor y que varía cada determinado tiempo la tensión de entrada del inversor hasta que el producto  $V \times I$  de salida (potencia de salida) del generador fotovoltaico se hace máximo.

Los inversores llevan asociados un rendimiento en la transformación, que se define como el cociente entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor y generalmente superior al 90%.



**CURVA DE RENDIMIENTO DE UN INVERSOR**

## ESTRUCTURA

Las instalaciones de paneles solares, ya sean térmicos o fotovoltaicos, requieren de una estructura de soporte que ha de cumplir unos requisitos básicos:

- La estructura soporte ha de resistir, con los paneles instalados, las sobrecargas de viento y nieve, de acuerdo con la normativa vigente.

- El diseño y construcción de la estructura y sistema de fijación de los módulos permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los paneles.
- Los puntos de sujeción de los paneles serán suficientes en número, teniendo en cuenta el área de apoyo y posición relativa, de forma que no se produzcan flexiones en los paneles superiores a las permitidas por el fabricante.
- El diseño de la estructura se realizará para la orientación y ángulo de inclinación especificado para el panel, teniendo en cuenta el mantenimiento de la instalación, la facilidad de montaje y desmontaje, y la posible necesidad de sustitución de elementos.
- La estructura se protegerá superficialmente contra la corrosión de los agentes ambientales. La posible realización de taladros en la estructura a posteriori no es recomendable.
- Se dispondrán las estructuras soporte necesarias para montar los paneles, tanto sobre superficie plana (terraza) como integrados sobre tejado, incluyendo todos los accesorios y anclajes.

Dentro de este marco se encuadra la solución de soporte modular mediante sistema de carriles y piezas de unión. Frente al soporte tradicional de estructuras soldadas, la utilización de un sistema de carriles para realizar este soporte tiene las siguientes ventajas:

- Sistema flexible válido para todos los paneles del mercado y adaptable a los distintos tipos de instalación (sobre cubierta, en terraza, en campo, etc.).
- Cumple con los requisitos establecidos por la normativa vigente.
- Es un sistema que garantiza la flecha máxima para no dañar los paneles.
- Facilidad de montaje, ya que todas las uniones se realizan sin soldadura y sin necesidad de taladrar, manteniendo intacto el galvanizado del acero.
- Sistema flexible que se puede desmontar para realizar modificaciones en la instalación o tareas de mantenimiento de la misma.
- Sistemas disponibles en varios niveles de protección ante la corrosión para garantizar la durabilidad de la instalación, según las condiciones ambientales a las que esté expuesta.

#### *CONSIDERACIONES ACERCA DEL DISEÑO DE SOPORTES DE PLACAS SOLARES SEGÚN EL C.T.E.*

Acciones en la edificación.

El C.T.E. se aplicará en el proyecto y en la obra de toda edificación, cualesquiera que sean su clase y destino, y, por ello, en los proyectos de instalaciones de energía solar. Las acciones que actúan sobre las edificaciones son las que se detallan a continuación:

- Acción gravitatoria: peso propio de los elementos constructivos, de los objetos que puedan actuar por razón de uso y de la nieve en las cubiertas.
- Acción del viento: es producida por las presiones y succiones que el viento puede originar sobre las superficies.
- Acción térmica: es la producida por las deformaciones debidas a los cambios de temperatura.

- Acción reológica: es la producida por la deformación que experimentan los materiales en el transcurso del tiempo, por retracción, fluencia bajo carga u otras.
- Acción sísmica: es la producida por las aceleraciones de las sacudidas sísmicas.
- Acción del terreno: es la producida por el empuje del terreno sobre las partes de la edificación en contacto con él.

Un factor muy importante en la producción de energía eléctrica es la inclinación y dirección de las placas solares fotovoltaicas. Esta producción se puede ver aumentada si se montan estructuras con seguimiento solar.

El campo fotovoltaico fijo es la opción recomendada para su ubicación de instalaciones en edificios, ya sean azoteas de edificios, cubiertas de naves industriales, etc., ya que por una parte, suelen ir en contra de la integración en el edificio, y además conllevan generalmente un sobre coste y mantenimiento extra que debe ser evaluado en relación al aumento de las prestaciones energéticas de la instalaciones, que en el caso de edificios no suelen ser de instalaciones de gran potencia. En cambio estos sistemas sí pueden resultar interesantes en el caso de instalaciones de gran potencia ( $\sim 1$  MW), que se ubican en espacios alejados del entorno urbano, y que debido a su gran potencia se consigue mejorar considerablemente las prestaciones energéticas sin un elevado sobre coste de la instalación.

Existen varias opciones, entre ellas la más sencilla técnicamente hablando que consiste en que campo fotovoltaico se encuentre fijo todo el año. Las características de este tipo de campo son:

- Menor coste de estructura.
- Menor riesgo de avería al no haber partes móviles.
- No requiere mantenimiento.

Otras opciones son:

- La orientación fija del campo. Inclinaciones posibles ( $15^\circ$  y  $60^\circ$ ), lo que mejora la captación de radiación anual en un 2%.
- Utilizar sistemas de seguimiento: ya sea en dos ejes (30% de ganancia de captación), en eje vertical (conseguimiento del ciclo diario con un incremento del 25% en ganancia de captación) o en eje horizontal (con seguimiento en altura y ganancia del 5%).

### **2.3.6. ENERGÍA SOLAR.**

La producción de energía eléctrica directamente mediante el efecto fotovoltaico presenta al día de hoy indudable ventajas energéticas, industriales, medioambientales, sociales, etc. Entre ellas, la implantación de la energía solar fotovoltaica tan amplia como sea posible contribuirá a impulsar un futuro desarrollo tecnológico, que lleve este procedimiento de generación eléctrica a términos cada vez más competitivos frente a otras formas de generación.

La energía solar en forma de radiación es la energía renovable más abundante y mejor distribuida, pero a pesar de su abundancia, esta energía presenta dos grandes inconvenientes:

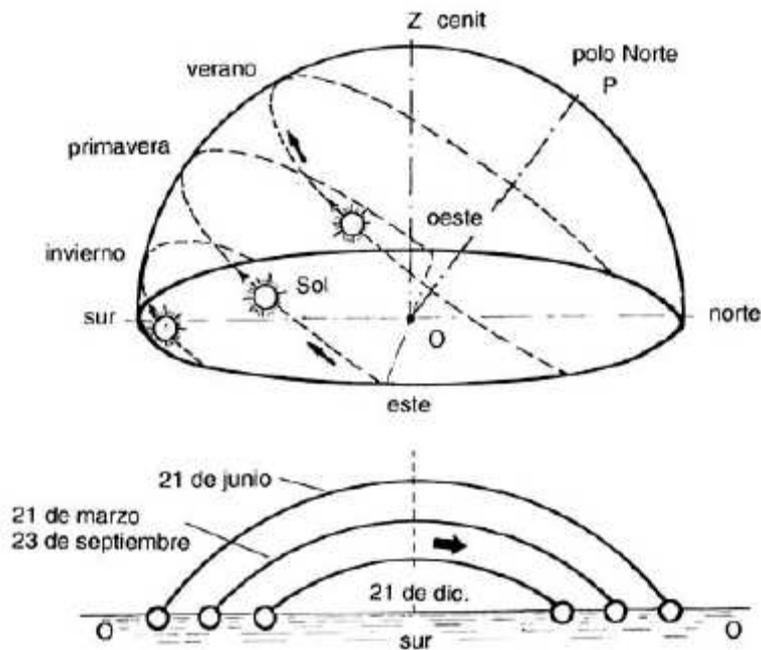
- Es altamente difusa (de baja concentración).

- Esta sometida a un ciclo diario y a uno anual, provocado por los movimientos de traslación y rotación de la tierra.

Estos ciclos están provocados porque la tierra gira descubriendo una órbita elíptica y al mismo tiempo gira sobre su propio eje, el cual se mantiene en una inclinación respecto al plano de la órbita de  $23,5^\circ$ . Como consecuencia de la combinación de estos movimientos y dependiendo de la época del año, un mismo punto terrestre verá movimientos del sol variables sobre el horizonte: el sol saldrá más pronto o más tarde, o la altura de éste al mediodía será mayor o menor.

La energía que llega a la superficie terrestre a través de la radiación solar depende básicamente del lugar (latitud), de la declinación solar y de la inclinación y orientación de la superficie fotovoltaica. También afecta la turbulencia atmosférica que difunde la radiación solar y la masa de aire que el rayo solar debe atravesar.

### CICLO DIARIO Y ANUAL DE LA TIERRA (TRASLACIÓN Y ROTACIÓN).

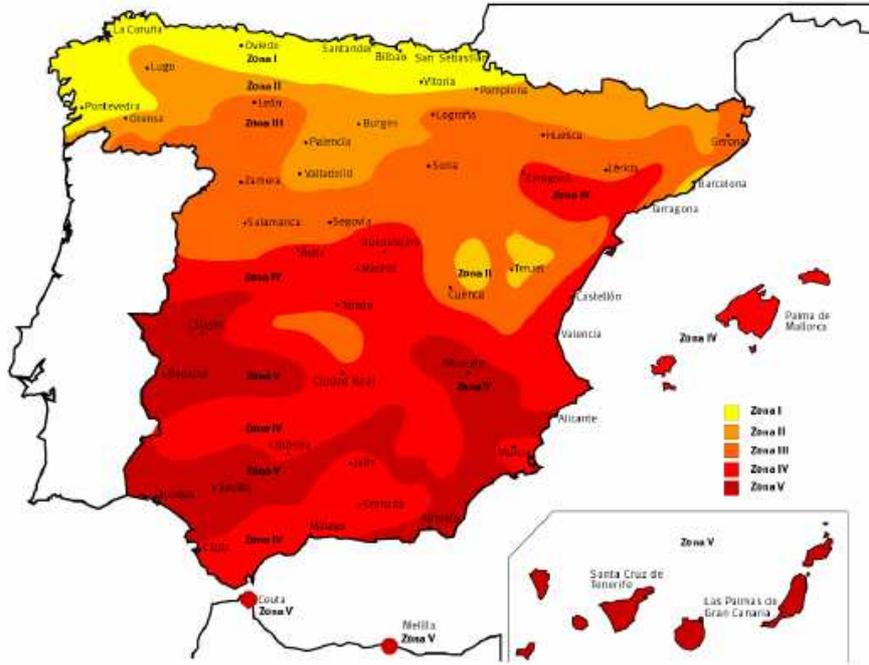


### 2.3.7. LA RADIACIÓN SOLAR. UNIDADES.

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de variables externas tales como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento. Para poder efectuar el diseño de una instalación solar fotovoltaica se necesita saber la radiación del lugar. Para ello se ha de disponer de las tablas de radiación solar actualizadas de nuestra provincia (los institutos de energía elaboran anualmente un atlas de radiación).

La figura siguiente muestra un mapa de radiación solar con datos de promedio anual, los cuales son útiles para la proyección de instalaciones.

**IRRADIACIÓN MEDIA DIARIA EN ESPAÑA SEGÚN ZONAS CLIMÁTICAS.**

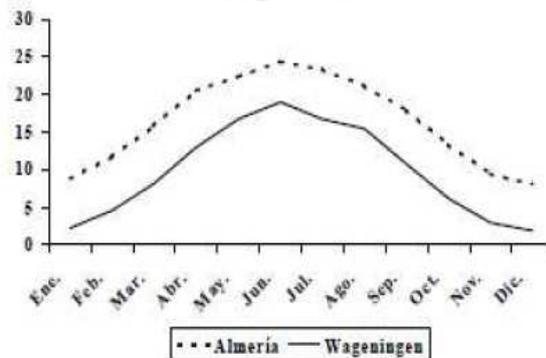


FUENTE: INM. Generado a partir de isolinéas de radiación solar global anual sobre superficie horizontal.

ZONA CLIMÁTICA	I	II	III	IV	V
IRRADIACIÓN MEDIA DIARIA (kWh/m <sup>2</sup> )	< 3,8	3,8 - 4,2	4,2 - 4,6	4,6 - 5,0	> 5,0

La cantidad de energía recibida del Sol (radiación solar) y la demanda diaria de energía serán los factores que nos marcarán el diseño de los sistemas fotovoltaicos. Como norma general esta energía nos será dada en KJ/m<sup>2</sup>.

**Radiación solar global media (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>) a lo largo del año**



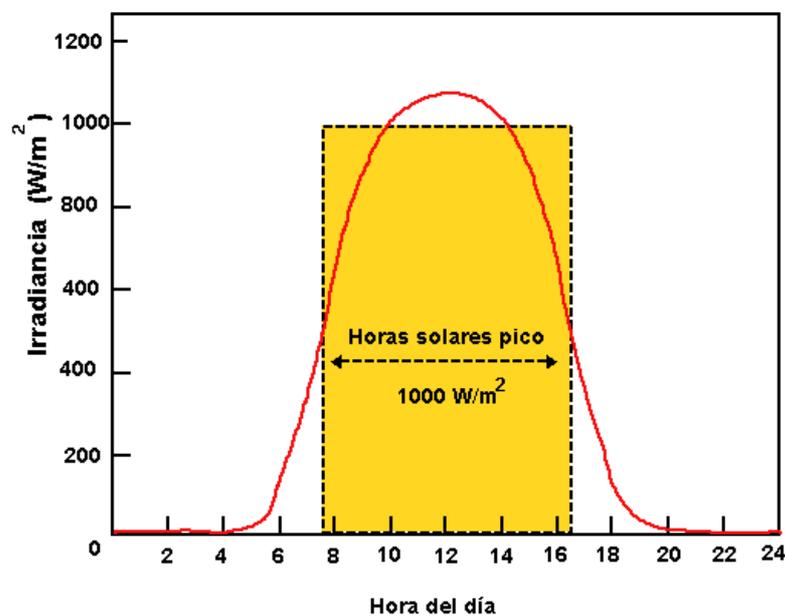
La evolución de la radiación solar a lo largo del año en Almería y Wageningen (Holanda) denota las mejores condiciones de la costa Mediterránea.

La elección de los datos de radiación solar dependerá directamente de la situación de la instalación, así como de las condiciones meteorológicas predominantes y particulares de cada lugar. Para cada provincia utilizaremos una tabla de radiación solar mensual interceptada por una superficie inclinada.

El Sol proporciona diariamente la citada cantidad de energía sólo durante una franja que es llamada *horas pico de sol* (HSP), cuyo número de horas depende de la zona geográfica de la instalación y de la estación del año. Así, a modo de ejemplo:

- Sur de España: 6 horas.
- Norte de España: 3,5 horas.

Tales horas corresponden a la media anual.



Es decir, si se dispone de los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP. Se puede deducir fácilmente que si los valores de radiación solar disponibles están expresados en kWh/m<sup>2</sup>, coinciden numéricamente con los que resultan al expresarlos en HSP.

Ejemplo: para una irradiancia de 5 kWh/m<sup>2</sup>, el resultado en horas es:

$$HSP = \frac{5 \text{ kWh} / \text{m}^2}{1000 \text{ W} / \text{m}^2} = \frac{5000 \text{ Wh} / \text{m}^2}{1000 \text{ W} / \text{m}^2} = 5$$

La energía de Sol también puede cuantificarse con un medidor de irradiación solar, el cual da el dato en W/m<sup>2</sup>. La cantidad indicada multiplicada por el número de horas de sol corresponde al valor de la energía disponible en el lugar.

### 2.3.8. DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Durante los últimos años, el desarrollo de esta energía ha sido muy inferior al objetivo inicialmente fijado para la presente década, sin embargo actualmente existen posibilidades para un fuerte crecimiento en un futuro próximo.



#### DATOS DE ASIF DE LAS INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS EN ESPAÑA

El desarrollo de la energía solar fotovoltaica se encuentra como principales barreras las de carácter económico, las cuales limitan su desarrollo. Salvar estas barreras y propiciar su desarrollo se fundamenta, entre otras, en las siguientes razones:

- Existencia de recursos solares en España muy favorables para el desarrollo de esta tecnología.
- Interés de numerosos promotores.
- Aprovechamiento de la industria nacional de las muy favorables perspectivas de evolución tecnológica y económica, que permiten predecir mejoras muy relevantes a medio plazo.



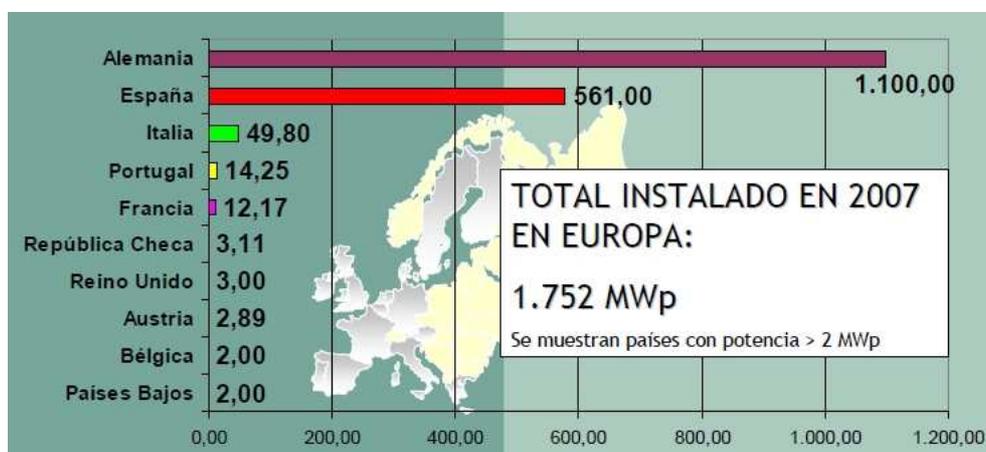
#### DATOS DE ASIF DE LAS INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS EN ESPAÑA

Además, las modificaciones introducidas por el R. D. 436/2004 representan una mejora del potencial de desarrollo del área.

En este Plan se identifica un nuevo objetivo de incremento de potencia fotovoltaica de 363 MWp en el periodo 2005-2010, dentro de la planificación de las energías renovables en su conjunto, siempre partiendo de la puesta en marcha de las medidas propuestas en él.

Las Comunidades Autónomas, en virtud de sus competencias, han elaborado planes energéticos que en unas ocasiones son de carácter general y en otras específicas para energías renovables. Estos planes, para energía solar fotovoltaica, tienen distintos horizontes temporales, aunque la mayoría se refieren al año 2010.

La energía solar fotovoltaica está experimentando fuertes crecimientos tanto a nivel mundial como de la Unión Europea, en los países en los que se definen marcos adecuados para su desarrollo, como es el caso de Alemania y España.



Adicionalmente, exceptuando proyectos de gran complejidad como puedan ser grandes plantas innovadoras que necesitan una financiación y unos procesos de maduración que requieren largos meses, los proyectos convencionales se pueden ejecutar en periodos relativamente cortos, lo que permite aumentar la potencia instalada en cortos periodos de tiempo.

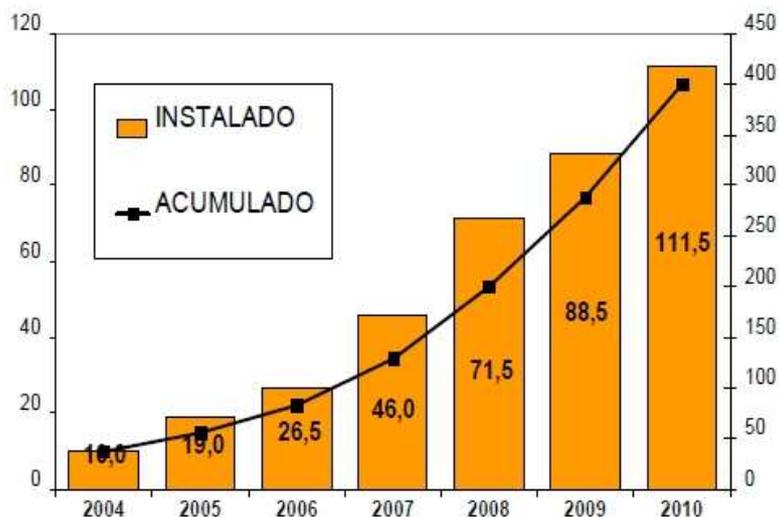
Teniendo en cuenta el grado de desarrollo de implantación de la energía solar fotovoltaica durante el periodo 1999-2004 en las diferentes Comunidades Autónomas, grado que está directamente relacionado también con el grado de insolación de cada región, se ha establecido una distribución del objetivo de los 363 MWp, por Comunidades Autónomas, de modo indicativo, según la tabla siguiente.

De esta forma, cumpliendo el objetivo único y global de instalar 363 MWp en un periodo de 6 años, se podrían alcanzar los 400 MWp de potencia instalada acumulada en el año 2010.

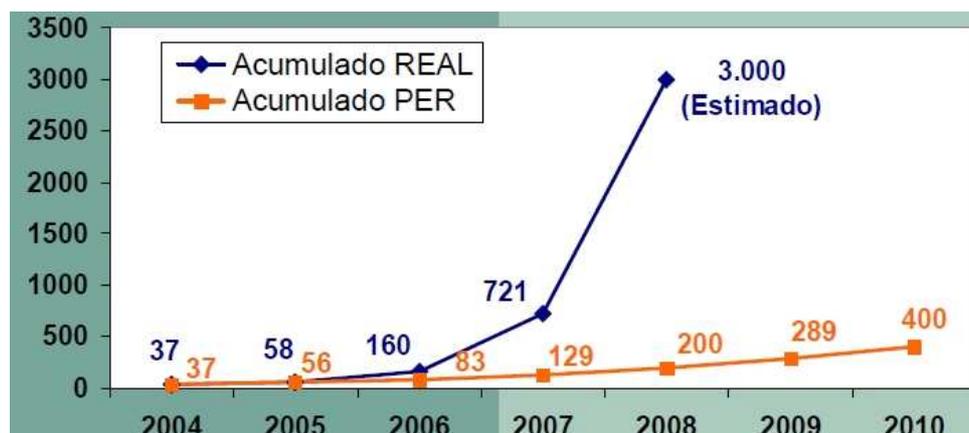
SOLAR FOTOVOLTAICA. OBJETIVOS 2010

COMUNIDAD AUTÓNOMA	SITUACIÓN ACTUAL 2004 (MWp)	INCREMENTO 2005 - 2010 (MWp)	POTENCIA EN 2010 (MWp)
ANDALUCÍA	7,86	43,38	51,24
ARAGÓN	0,67	16,08	16,75
ASTURIAS	0,34	8,93	9,27
BALEARES	1,33	16,41	17,74
CANARIAS	1,20	16,04	17,24
CANTABRIA	0,07	9,14	9,21
CASTILLA Y LEÓN	2,73	25,60	28,33
CASTILLA - LA MANCHA	1,78	11,64	13,42
CATALUÑA	4,11	52,48	56,59
EXTREMADURA	0,54	12,85	13,39
GALICIA	0,51	23,49	24,00
MADRID	2,38	29,33	31,71
MURCIA	1,03	19,03	20,06
NAVARRA	5,44	14,20	19,64
LA RIOJA	0,15	9,08	9,23
COMUNIDAD VALENCIANA	2,83	31,25	34,08
PAÍS VASCO	2,40	23,70	26,10
NO REGIONALIZABLE	0,77	-	0,77
<b>TOTAL (MW)</b>	<b>37</b>	<b>363</b>	<b>400</b>

FUENTE: IDAE.



La situación actual nos dibuja una realidad bien distinta a lo planificado por las distintas Administraciones. El objetivo para el sector fotovoltaico definido en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 se alcanzó en 2007 con tres años de antelación.



ESTIMACIÓN DE POTENCIA INSTALADA EN 2005-2010.

### Plan de Energías Renovables 2010-2020

Para seguir avanzando hacia el objetivo planteado de conseguir que en 2020 en la Unión Europea el 20 % de la energía primaria sea cubierto con las energías renovables, no se debe detener el proceso en el objetivo fijado en nuestro país para la energía fotovoltaica de 371 MW, sino que se debe continuar con la vista puesta en metas mucho más amplias, realizando un Plan de Energías Renovables para el período 2010-2020 que asegure estas previsiones.

La aportación de las energías renovables al consumo final bruto de energía en España se estima para el año 2020 en un 22,7%, casi tres puntos superior al objetivo obligatorio fijado por la Unión Europea para sus estados miembros, mientras que la aportación de las renovables a la producción de energía eléctrica alcanzará el 42,3%, con lo que España también superará el objetivo fijado por la UE en este ámbito (40%).

El Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 se encuentra actualmente en proceso de elaboración, por lo que tanto el escenario como los objetivos para cada una de las tecnologías renovables durante este periodo pueden ser objeto de revisión.

Para la formación del escenario del mapa energético en 2020, se ha tenido en cuenta la evolución del consumo de energía en España, el alza de los precios del petróleo en relación a los mismos en la década de los noventa y la intensificación sustancial de los planes de ahorro y eficiencia energética.

### 2.3.9. VIDA ÚTIL DE LAS INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS.

La vida útil de una planta fotovoltaica es la de sus componentes. Si la planta está diseñada correctamente y se realiza el mantenimiento recomendado, se pueden esperar en España los siguientes valores:

- Los módulos, vida esperada de más de 40 años.
- La electrónica, vida útil de más de treinta años.
- Las baterías, más de diez años para las de ácido-plomo y más de veinte años para las baterías alcalinas-níquel-cadmio.

- Los elementos auxiliares que componen la instalación cableado, canalizaciones, cajas de conexión etc., pueden durar más de 40 años.

### 2.3.10. RENDIMIENTO GLOBAL.

Los módulos fabricados en España, dependiendo de la tecnología y de la potencia de las células fotovoltaicas que lo componen, tienen un rendimiento entre los valores del 13,5% y el 11,5%, es decir, que 1 m<sup>2</sup> de módulo, según el modelo y clase, tendrá una potencia nominal entre 135 Wp y 115 Wp.

El rendimiento de la instalación viene también determinado por una serie de factores entre los que destacan:

- La tolerancia en los valores de potencia nominal del módulo fotovoltaico (entre un +0% y un -10%).
- La pérdida de potencia al trabajar el módulo en condiciones de operación distintas a las que tenía cuando se midió su potencia nominal. El módulo, por ejemplo, adquiere en operación temperaturas superiores a los 25° C con los que se midió en fábrica (pérdidas entre un 5 y un 10%).
- Las pérdidas del inversor están comprendidas entre un 5 y un 11%.
- Otras pérdidas, generalmente caídas de tensión (se suele tomar un 3% aproximadamente).

Por tanto, sobre la potencia nominal del módulo se debe aplicar los siguientes valores medios de rendimiento global, en una primera aproximación:

Instalación	Rendimiento global
Pequeña (entre 1 y 5kW)	0,750
Mediana (entre 5 y 100 kW)	0,775
Grande (entre 100 kW y 1MW)	0,800
Centrales fotovoltaicas (entre 1 y 50 MW)	0,825

**RENDIMIENTO GLOBAL INSTALACIONES (módulos fotovoltaicos no incluidos).**

### **3. MEMORIA TÉCNICA. INVERNADERO**

#### **3.1. DETALLES Y CURIOSIDADES.**

En primer lugar deben de almacenar gran cantidad de volumen de aire dentro de un invernadero, para que las oscilaciones de temperatura entre el día y la noche en los cultivos, sean menores. Es por esto, que las estructuras modernas son de gran altura (de 3 a 5 metros). Esta gran altura hace también que las temperaturas en verano de este tipo de invernadero, sean mucho más bajas que en los invernaderos antiguos, y las temperaturas en invierno sean más elevadas. Este simple detalle, influye lógicamente en la actividad de las distintas personas que se encuentran en el invernadero realizando las diversas tareas.

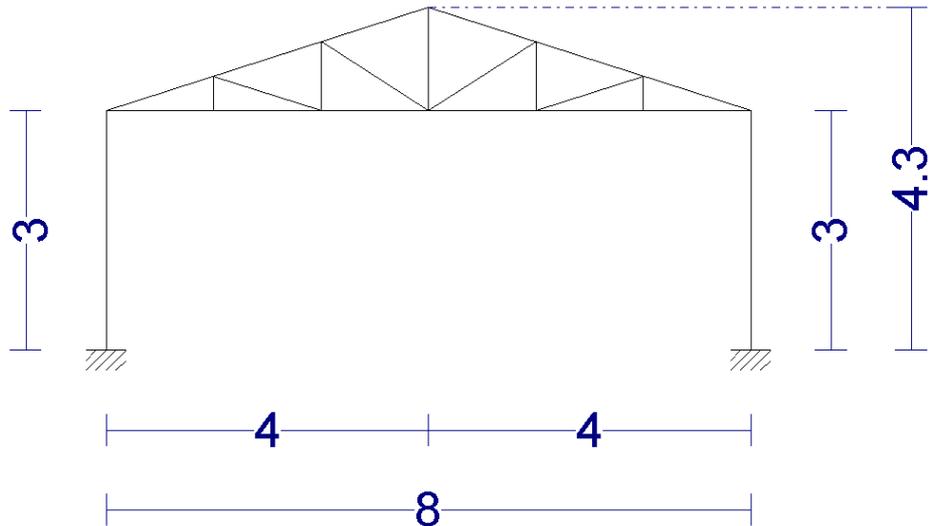
Deben ser herméticos, para disminuir la incidencia de plagas y enfermedades, disminuir las virosis, así como para mejorar el control climático, ya que controlamos mejor los diferentes factores medioambientales dentro del invernadero como temperatura, humedad, dióxido de carbono, etc., al tener un invernadero más estanco. Esto lo conseguiremos gracias a la utilización de plásticos específicos ideados y creados para el campo del cultivo bajo invernaderos. Una ventaja añadida en una estructura moderna en este aspecto, es que al disponer de materiales de fijación muy fuertes, la colocación de los diversos accesorios para el control climático se realiza de mejor forma, que en las estructuras antiguas.

En una estructura moderna se puede hacer también una actividad más efectiva de control integrado, ya que los diversos insectos beneficiosos permanecen dentro del invernadero y tenemos un gran número de poblaciones, ya que las continuas generaciones de insectos beneficiosos, permanecen siempre dentro del invernadero. Otra ventaja añadida de este tipo de estructuras, es que con la misma estructura que se está utilizando en los invernaderos, se pueden realizar diversas naves para el almacenamiento de productos, naves para instalaciones de riego, oficinas, etc.

#### **3.2. DIMENSIONES.**

Las alturas medias de los modernos invernaderos son de tres metros a cuatro y medio de altura bajo canal. Esto hace que las plantas tengan gran altura, obteniéndose una gran producción por metro cuadrado. El material de cubierta suele ser polietileno o policarbonato. La nivelación se suele hacer de 0, 5 a 1 por ciento, siendo este factor muy importante para poder evacuar el agua del techo del invernadero. El empleo de los invernaderos multitúneles, se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación.

Las dimensiones de los módulos que diseñaremos serán las siguientes:



Lo diseñaremos a través del generador de pórticos del programa informático CYPE para ingenieros en la rama del metal.

Serán pórticos rígidos biempotrados de dos aguas con cubierta tipo celosía americana con tres tramos tanto a la izquierda, como a la derecha.

*Grado de utilización del invernadero:*

El nivel de utilización de un invernadero se puede definir por el cociente entre la superficie útil ocupada por el cultivo y la superficie total cubierta por el invernadero.

$$Cu = Su/St$$

Este índice adopta valores variables entre 0'60 a 0'75.

En el caso que nos ocupa, trabajaremos sobre un módulo de invernadero tipo multitúnel que tendría unas dimensiones de 100 metros de longitud por 8 metros de anchura. Si tenemos en cuenta que dejaríamos un margen en todo el perímetro del módulo de 1 metro, 5 metros de pasillo central y 2 metros por cada pasillo secundario (un total de dos por módulo), el nivel de utilización quedaría de la siguiente manera:

$$Cu = 512/800 = 0'64$$

$$Su = (100 \cdot 8) - 2 \cdot (1 \cdot 100) - 2 \cdot (1 \cdot 8) - (5 \cdot 8) - 2 \cdot (2 \cdot 8) = 512 \text{ m}^2$$

$$St = 8 \cdot 100 = 800 \text{ m}$$

Para el diseño que nos ocupa este proyecto calcularemos las dimensiones de 11 módulos unidos lateralmente.

El conjunto de elementos que entran a formar parte de la estructura resistente a un invernadero puede dividirse en:

- Elementos cuya misión es resistir el material de cubierta (vidrio, plástico, etc.).
- Estructura resistente, propiamente dicha, encargada de resistir las cargas debidas al peso de la cubierta y cargas exteriores.
- Cimentación que transmite las cargas anteriores al terreno subyacente.

### 3.3. UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN DEL SOL.

La construcción del invernadero se llevará a cabo en el término municipal de El Ejido, provincia de Almería. Se accederá a través de la salida 409 de la Autovía del Mediterráneo cogiendo un camino rural.



PLANO AÉREO DE EL EJIDO

El terreno es de tres hectáreas en el que realizaremos la proyección y diseño de un invernadero de una hectárea sin tener en cuenta las instalaciones complementarias, como podrían ser: una balsa de acumulación de agua para el regadío, una nave para el almacenaje de productos (fertilizantes, vitaminas...), un cuarto para bombas de agua y tanques de acumulación, caminos de paso.

Junto a este invernadero, en las caras Norte y Sur del mismo, instalaremos unas estructuras especialmente diseñadas para la sustentación del conjunto placa solar-soporte que proporcionarán energía eléctrica que posteriormente “venderemos” a la compañía eléctrica.

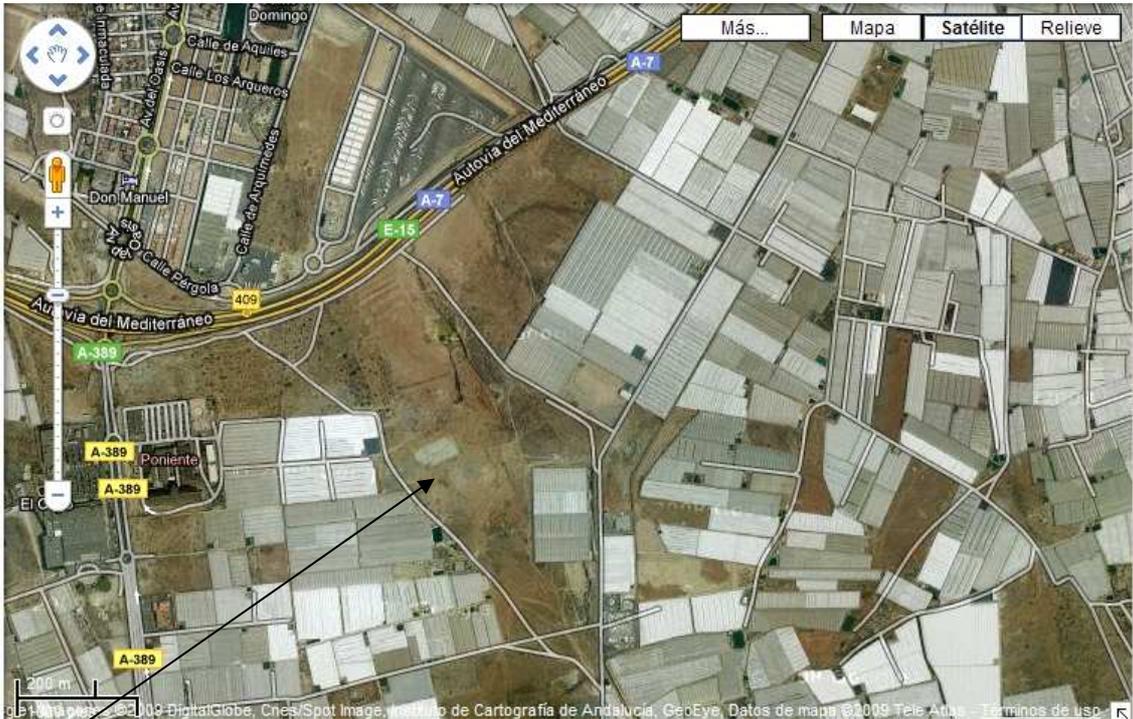
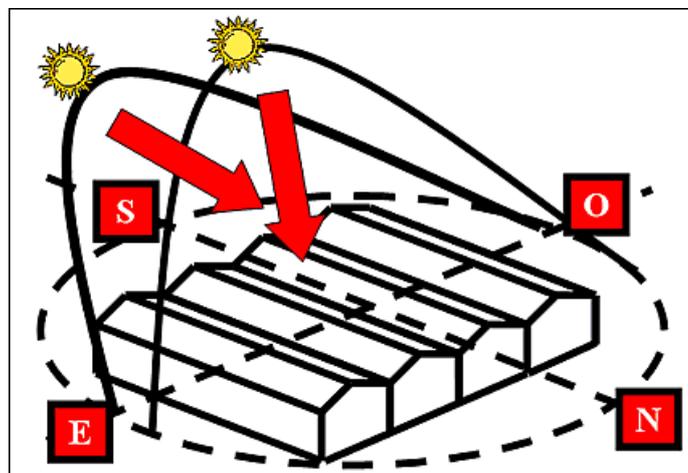
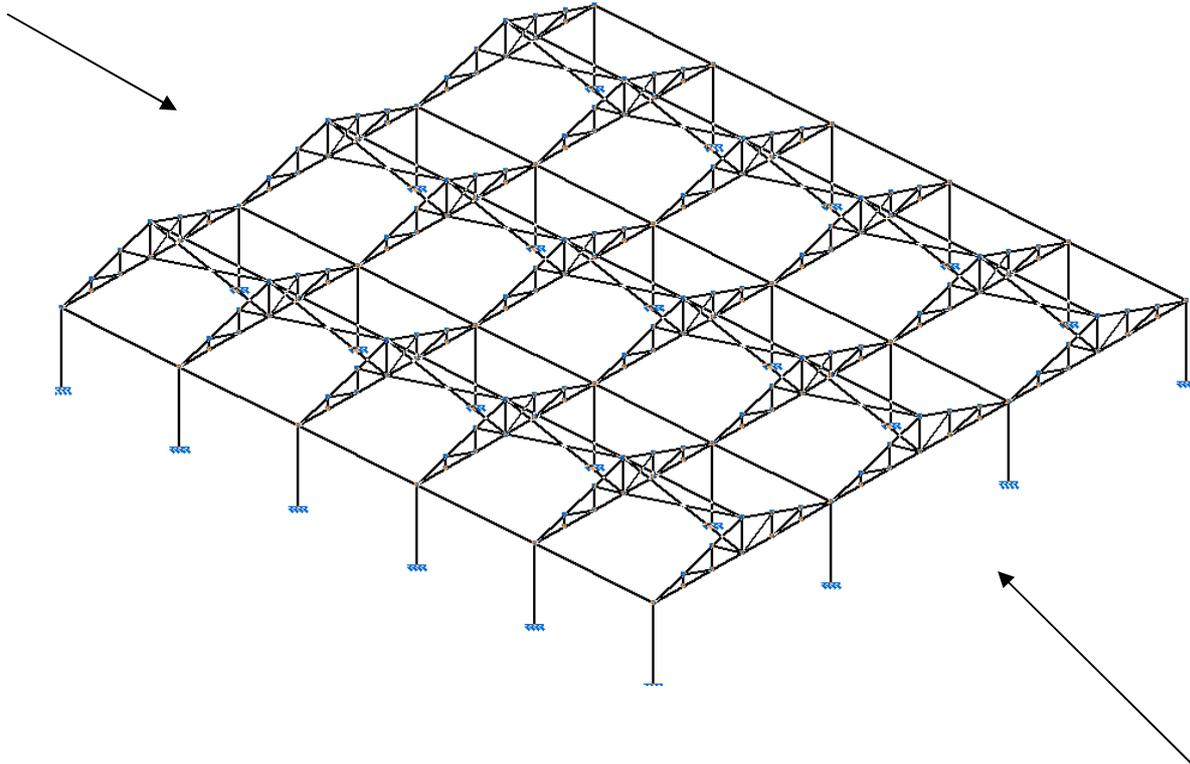


IMAGEN AÉREA DE LA FINCA

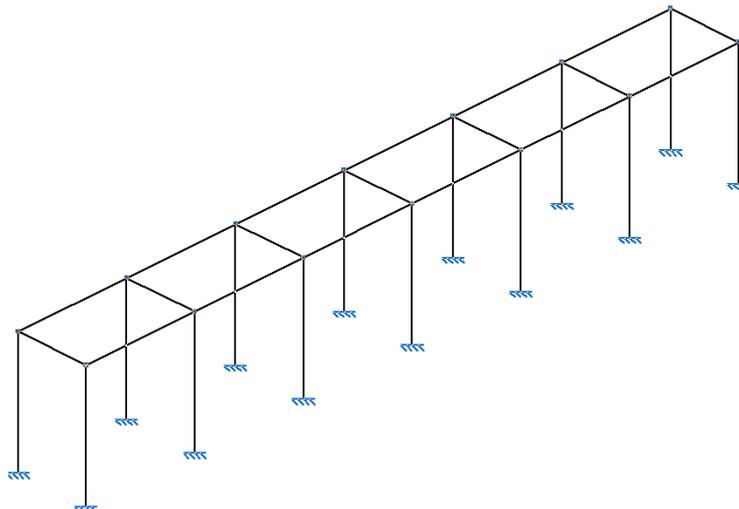
En cuanto a la orientación mucho se ha discutido sobre la mejor disposición del invernadero en el terreno. Si cabe la posibilidad de elegir, normalmente se suelen orientar Norte-Sur, ya que si bien la dirección de los rayos solares es distinta en las diferentes estaciones del año, lo que provoca sombras en diferentes lugares del invernadero, el factor predominante de esta orientación son los vientos, ya que las bandas quedan hacia levante y poniente, que son los vientos predominantes donde se realizan este tipo de invernaderos.



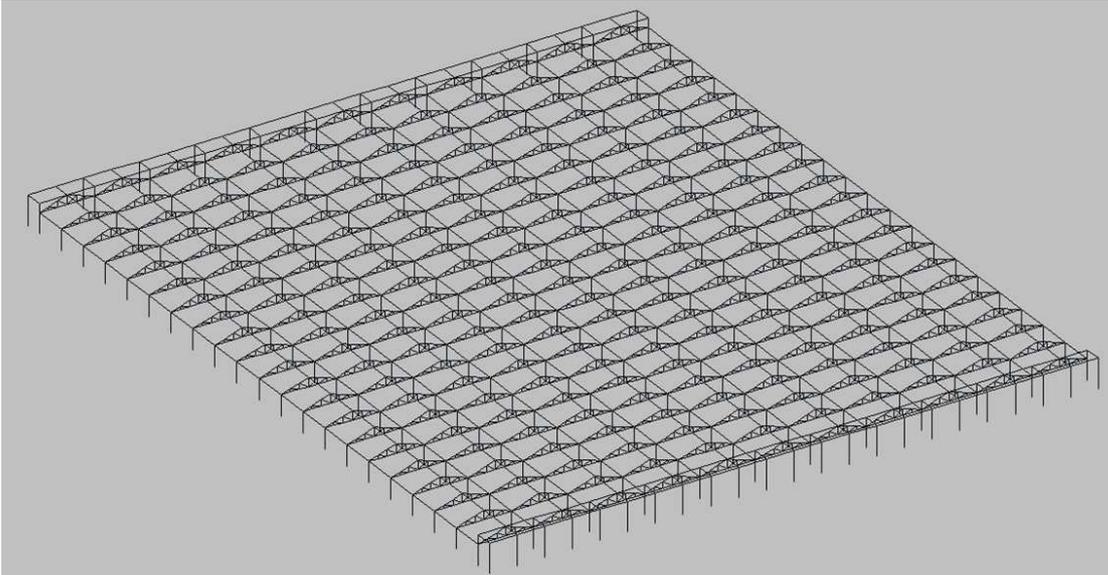
En este proyecto también se tendrá en cuenta el sombreado que proporcionarán las placas solares a nuestro cultivo. Por este motivo se dispondrán dos filas de soportes de paneles solares donde indican las flechas.



**CROQUIS ORIENTATIVO DEL INVERNADERO + SOPORTES PLACAS SOLARES**

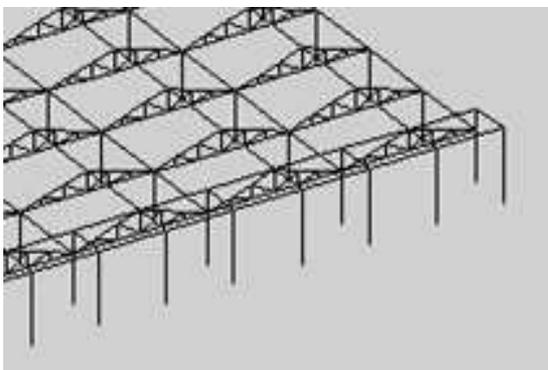
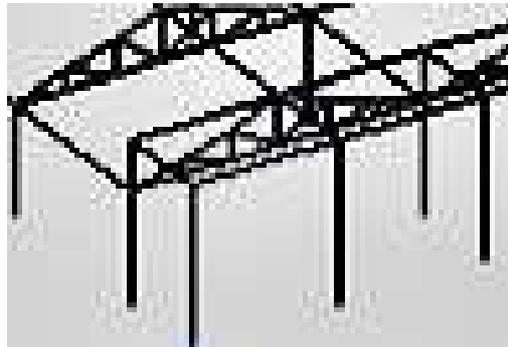


El resultado de la unión de estas dos construcciones en toda la extensión del invernadero nos daría lo siguiente:

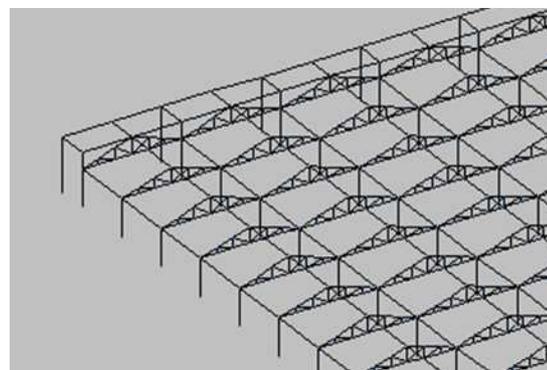


**IMAGEN EN 3D DEL INVERNADERO JUNTO LOS SOPORTES DE LAS PLACAS SOLARES.**

Si se amplía la imagen que proporciona el programa CYPE para ingenieros:



**LADO SUR**



**LADO NORTE**

Más adelante realizaremos un estudio de sombreado para tener constancia de afectación que pueden sufrir los cultivos debido al montaje de las placas solares.

### 3.4. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS.

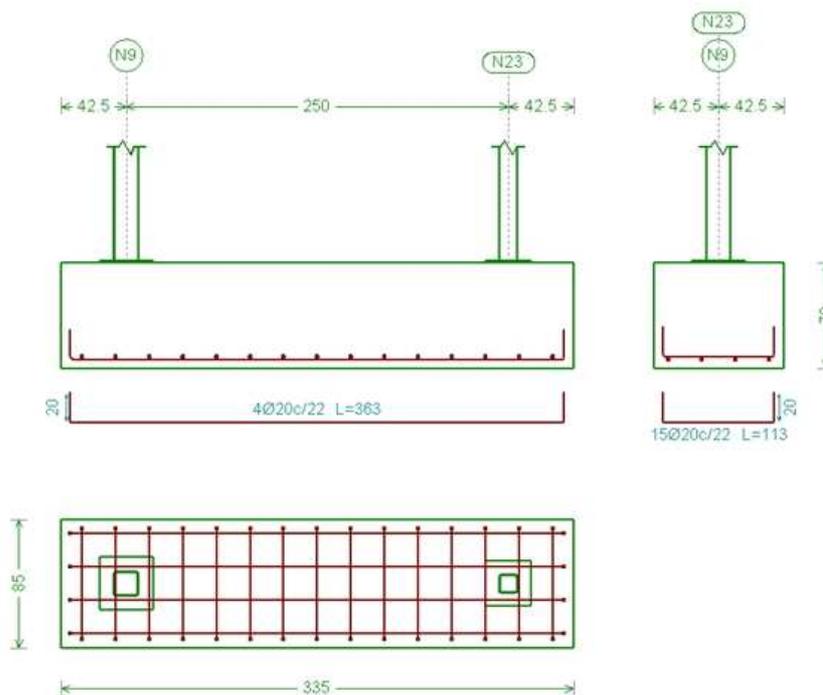
Para el correcto diseño de una estructura de invernadero primero se debe de replantear. Se van marcando los metros de separación entre un poste y otro. Posteriormente viene la actividad de la perforadora. Los hoyos son muy importantes ya que son el anclaje del invernadero al terreno. La perforadora debe tener un gran tallante para realizar un fuerte anclaje del invernadero al terreno.

#### 3.4.1. CIMENTACIÓN.

La cimentación es el elemento mediante el cual se transmiten las cargas que actúan sobre el invernadero al terreno. El primer factor a considerar para la definición de la misma es la capacidad portante del terreno sobre el que descansa. Esta, salvo en el caso de terrenos compactos superficiales, es inferior a las construcciones ordinarias, dada la menor profundidad a que se cimentan estas estructuras por motivos económicos. A falta de un estudio geotécnico adecuado, deben reducirse las cargas admisibles que ordinariamente se consideran para las edificaciones normales ( $= 0'5/1 \text{ kg/cm}^2$ ). Cálculos que se realizan mediante el generador de estructuras y pórticos, CYPE para ingenieros.

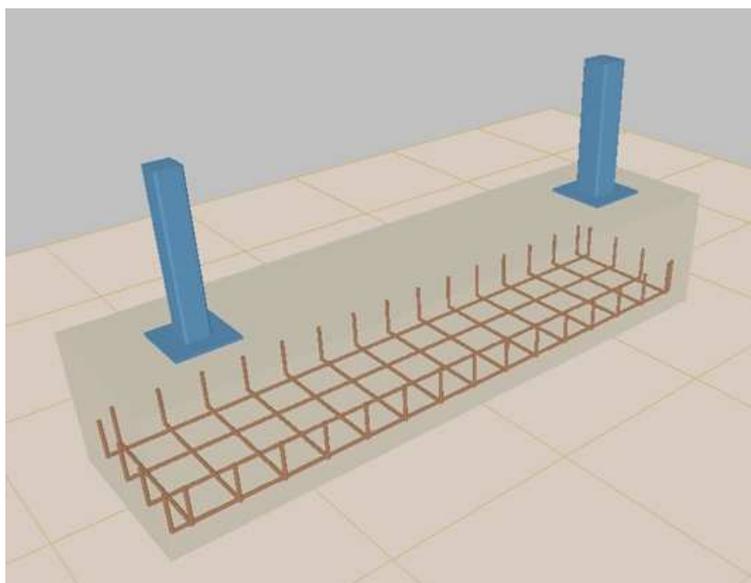
Las siguientes figuras muestran detalles de la cimentación del terreno que será necesario realizar para poder colocar estructuras capaces de soportar cargas adicionales.

*SOPORTES PLACAS SOLARES (Imágenes de la cimentación).*

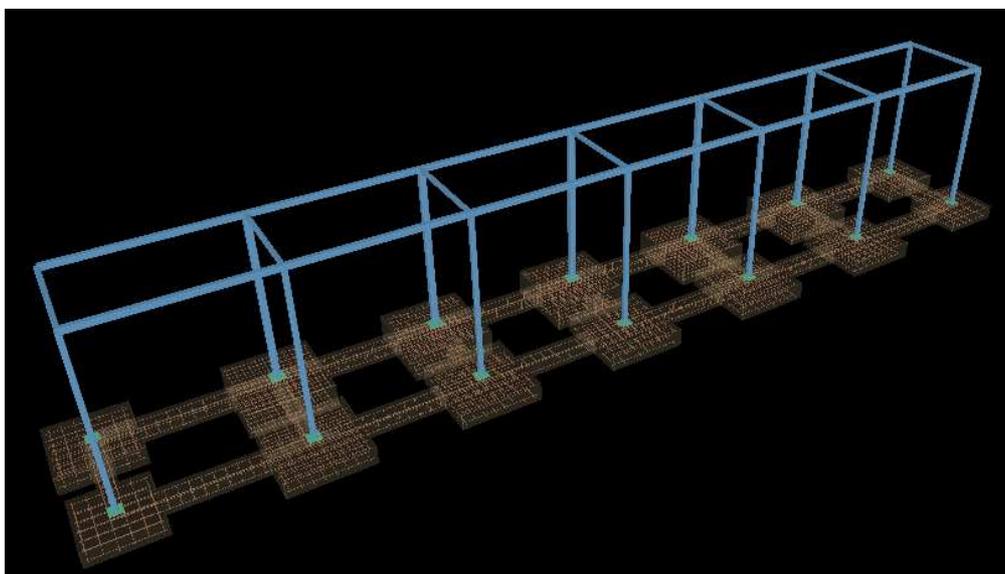


**DIMENSIONES PARA LA CIMENTACIÓN**

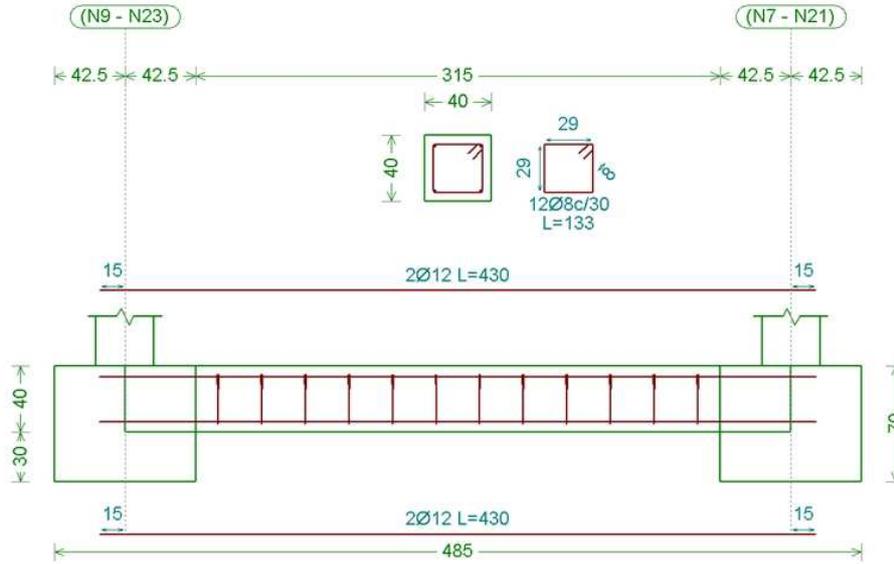
**IMAGEN EN 3D DE LA CIMENTACIÓN**



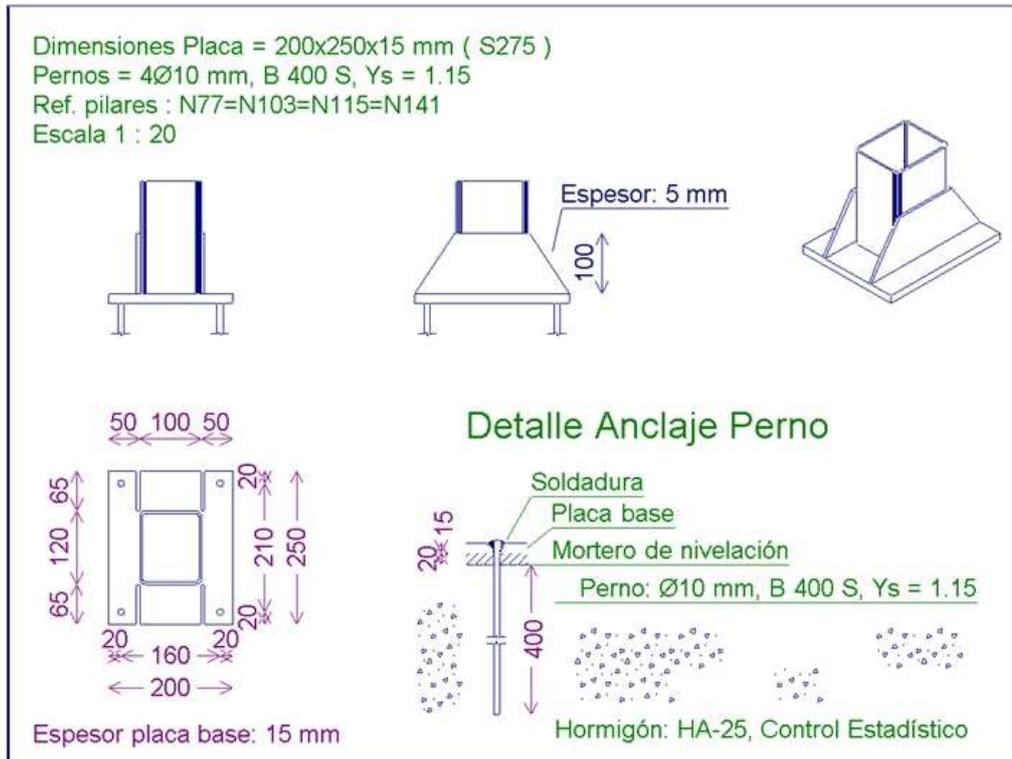
**REPRESENTACIÓN DE LOS SOPORTES QUE SUSTENTEN LAS PLACAS.**



**BIGA DE ATADO.**

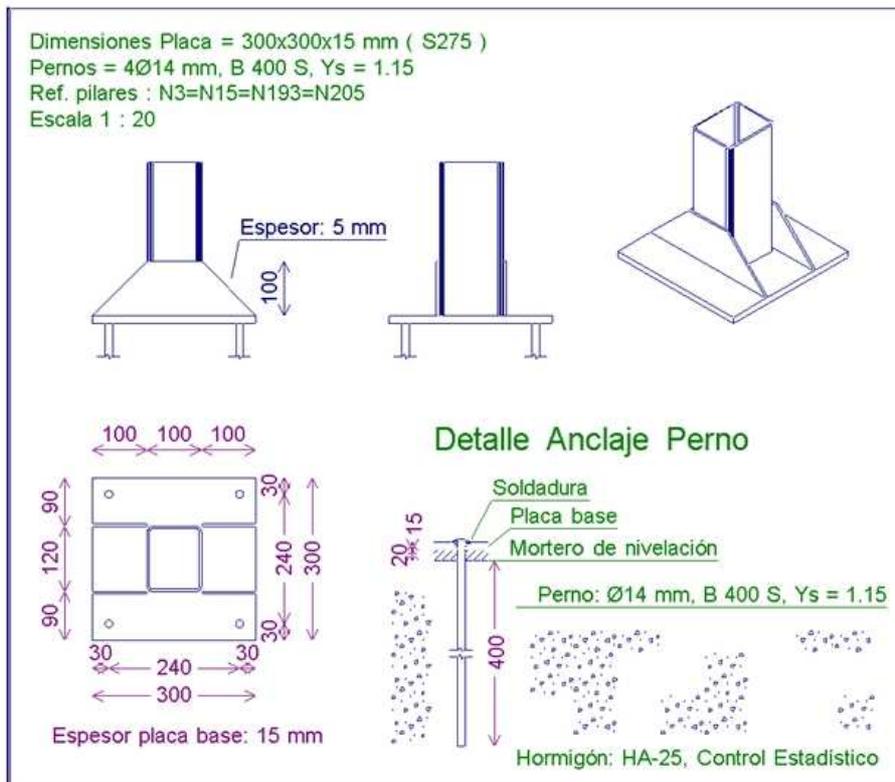
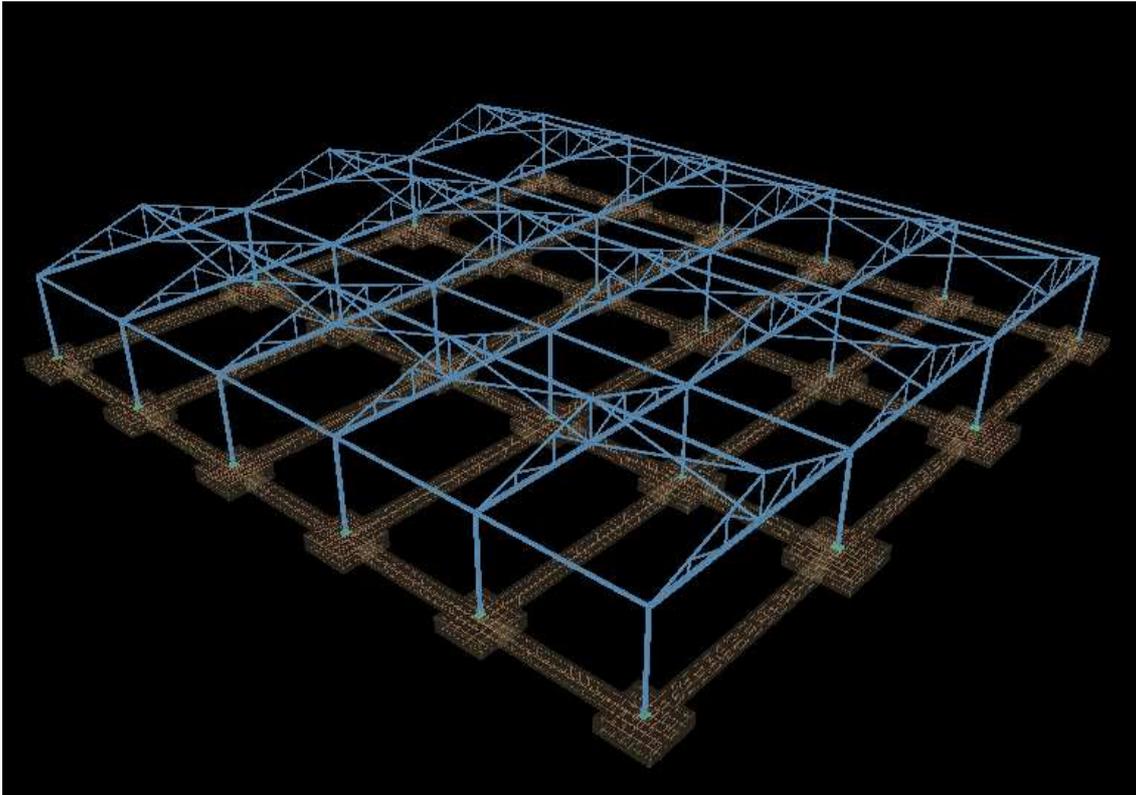


*MODULOS INVERNADERO (Despiece de la cimentación).*



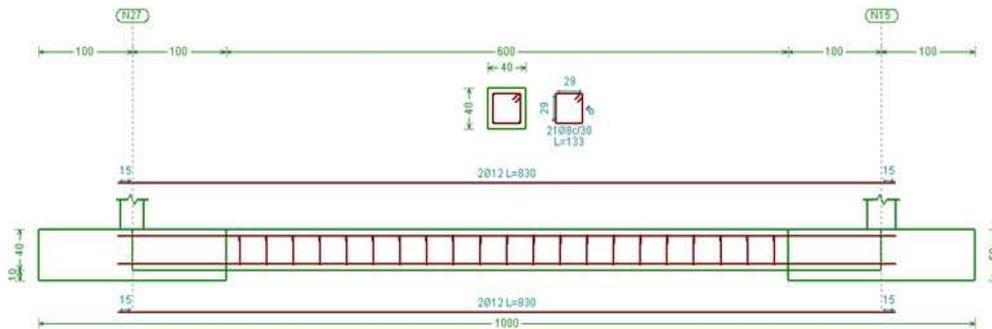
**DIMENSIONES PARA LA CIMENTACIÓN DE PERFILES INTERIORES**

IMAGEN EN 3D DE LOS MÓDULOS DE INVERNADERO

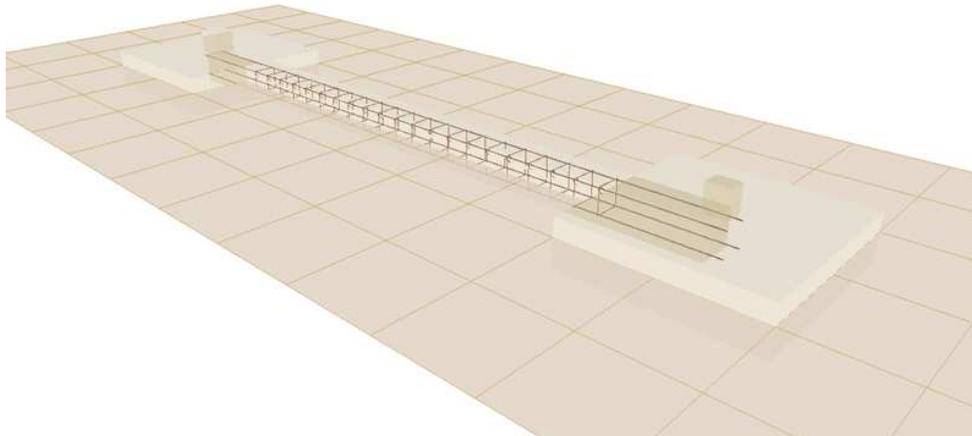


DIMENSIONES PARA LA CIMENTACIÓN DE PERFILES EXTERIORES

### BIGA DE ATADO



### IMAGEN EN 3D DE LA BIGA DE ATADO



### 3.4.2. CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA.

Las cargas que actúan en un invernadero pueden dividirse en:

- Cargas permanentes, entre las que figuran el peso propio del material de cobertura, el peso de los elementos que sostienen al anterior, el peso de la estructura resistente más otros que actúan de forma permanente sobre la estructura (sobrecarga de uso fija) o no (sobrecarga de uso variable).
- Cargas accidentales, que comprenden: el peso de la nieve, acción del viento, sobrecarga de conservación actuando sobre la cubierta y acción sísmica.

### CARGAS PERMANENTES

El peso del material de cubierta depende del material utilizado y puede variar entre 7 kg/m<sup>2</sup> para vidrio de 6 a 8 mm y 1 a 5 kg/m<sup>2</sup> para plástico rígido. El peso de los elementos que sostienen la cubierta puede considerarse conjuntamente con el peso de la estructura portante. Este depende del tipo de material empleado, luz libre, tipo de estructura portante, etc.

### CARGAS ACCIDENTALES

LA NIEVE: La sobrecarga de nieve definida en la Norma Básica de la Edificación NBE-AE/88 Acciones en la Edificación, parecen excesivas para este tipo de estructuras. Esta reducción de la sobrecarga de nieve en la construcción de invernaderos se debe a:

- Las zonas de implantación de los invernaderos son áreas de clima moderado y, por tanto, de escasas nevadas.
- La naturaleza del material de cubierta facilita el deslizamiento de la masa de nieve.
- El calentamiento interno del invernadero provoca el derretimiento de la nieve en contacto con el material de cubierta.
- Al alcanzar la nieve valores elevados, se rompe el material de cubierta, dejando entonces de actuar sobre la estructura portante.

Por todas estas consideraciones parece razonable adoptar para la carga de nieve un valor de 25 kg/m<sup>2</sup> de proyección horizontal. Para el caso que nos ocupa, cogeremos las condiciones que aportan la Zona 6.



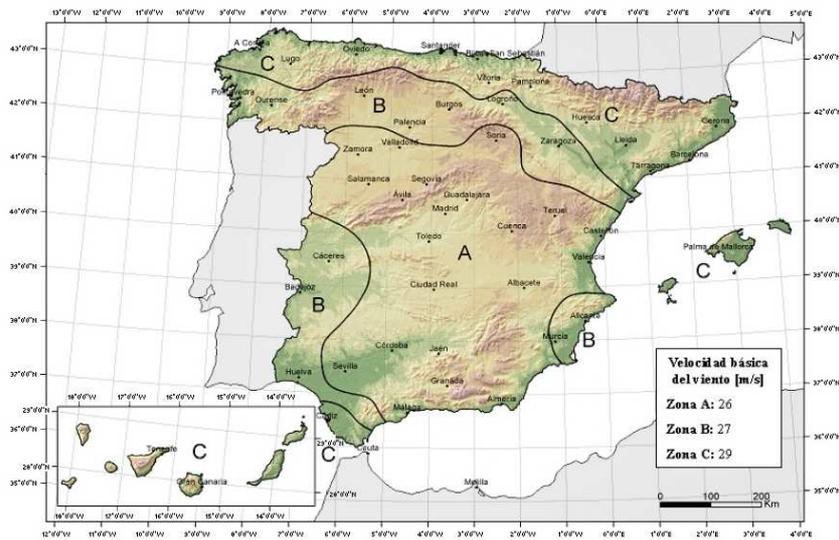
EL VIENTO: En estructuras como la que tratamos, poco solicitadas en carga vertical, la actuación de acciones horizontales como el viento supone un notable incremento de los esfuerzos, llegando a ser determinante para el dimensionamiento de los distintos elementos de la estructura.

El viento es una acción dinámica que al actuar sobre un elemento produce una respuesta variable en el tiempo. Se considera que para el cálculo se asimila la acción del viento a una presión o depresión estática proporcional al valor W (kg/m<sup>2</sup>):

$$W=V^2/16$$

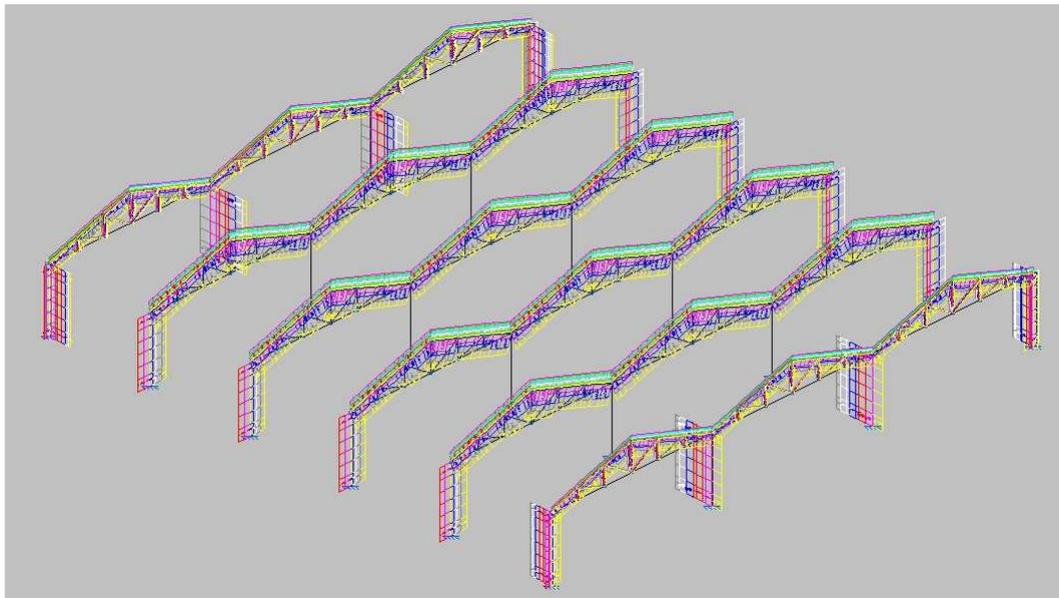
Donde V=velocidad del viento (m/seg.)

La acción del viento en función de la altura del elemento y de su situación topográfica. Se considera que ésta es expuesta en las costas, crestas, valles, etc.



Normalmente, es suficiente estudiar la acción del viento según dos direcciones coincidentes con los ejes principales de la estructura y en ambos sentidos. La sobrecarga debida al viento depende de la forma de la construcción del ángulo de incidencia.

A continuación, en la imagen se muestra una recreación mediante el programa de estructuras de metal CYPE para ingenieros de las cargas que se aplican en los perfiles generadas por diferentes acciones (sobrecarga de uso, nieve, viento...).



**TABLA DE PERFILES UTILIZADOS**

TIPO DE PERFIL	CANTIDAD	INVERNADERO	SOPORTE SOLAR
#160x5	92		X
#140x5	88		X
#100x4	92		X
#120x100x4	62	X	
#140x100x4	220	X	
#100x80x4	240	X	
#80x40x3	264	X	
#60x40x2	1188	X	
O-80x2	242	X	

*ESPECIFICACIONES GENERALES QUE DEBEN CUMPLIR ESTAS ESTRUCTURAS*

En general, este tipo de estructuras deben cumplir las siguientes especificaciones:

- La flecha máxima, tanto en la estructura principal como de los elementos secundarios, no debe ser superior al 1/250 de luz.
- Para el dimensionamiento de los elementos metálicos y sus uniones se seguirán las normas específicas para estos elementos ( MV-103, etc.).
- El dimensionamiento de los elementos de hormigón en masa o armado se realizará de acuerdo con la “Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-88”.
- Para la determinación de acciones o pesos específicos no mencionados en este apartado se seguirá la norma NBE-AE88, “Acciones en la edificación”.

**3.5. PLASTICOS DE CUBIERTA.**

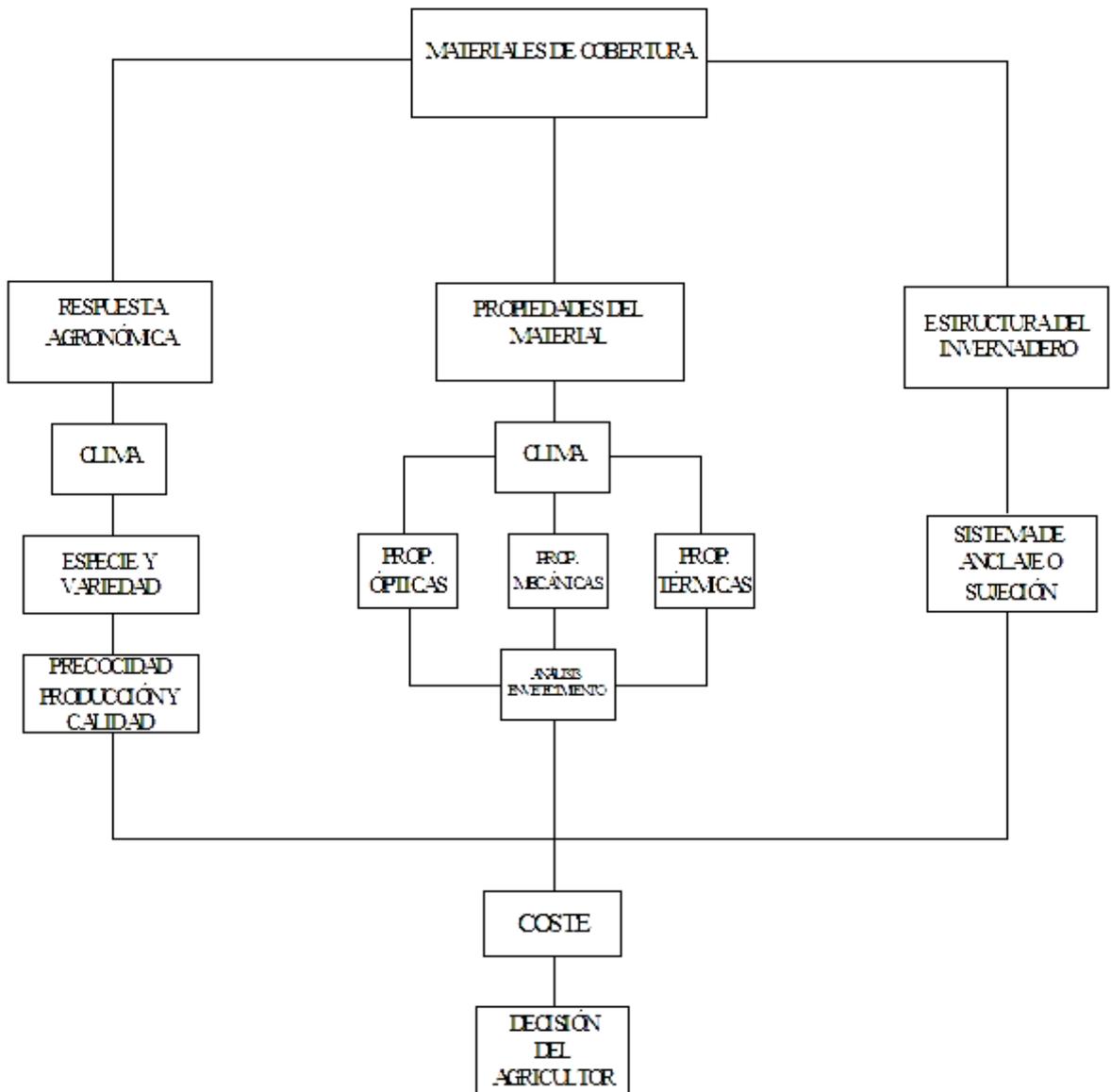
**3.5.1. INDICADORES PARA LA ELECCIÓN DE UN MATERIAL DE COBERTURA.**

En España, alrededor de 98% de invernaderos están cubiertos por el film de polietileno de baja densidad. Por áreas geográficas, Andalucía es la región con mayor superficie cubierta por este material (Almería tiene alrededor de 20.000 Ha de invernadero). Sin embargo, la elección de un material de cobertura depende de una serie de criterios o indicadores que, interaccionados entre sí, ayudarán al agricultor en su decisión sobre la conveniencia o no en el uso de un determinado material de cubierta.

En este sentido, en la figura XX se ilustra un esquema a partir del cual se definen los tres indicadores siguientes:

- Indicador A: respuesta agronómica (precocidad, producción y calidad).
- Indicador B: propiedades ópticas, térmicas y mecánicas del material.
- Indicador C: estructura del invernadero, anclaje o sujeción del plástico.

La simultaneidad en los tres indicadores anteriores permite establecer que la elección de un material de cubierta para invernaderos está en función del coste del mismo, de su grado de protección térmica (efecto estufa), de la vida útil y del tipo de cultivo.



### 3.5.2. MATERIAL DE CUBIERTA. POLIETILENO.

Para el cerramiento de invernaderos se utiliza sólo el de baja densidad (baja cristalinidad) y alto peso molecular (bajo índice de fluidez). Una de las características del PE es que su alargamiento en el punto de rotura es cercano al 500 %. Un material se considera degradado cuando su alargamiento se ha reducido en un 50 % de su valor inicial. El PE se degrada por la radiación UV y el oxígeno, por lo que la exposición permanente a la intemperie provoca su rotura al perder las propiedades mecánicas.

Para evitar esto es común añadir en el proceso de fabricación del PE diversas sustancias:

- Absorbentes de radiación UV (derivados de benzotriazoles y benzofenona).
- Secuestradores de radicales libres.
- Desactivadores (sales orgánicas de níquel).
- Estabilizantes (Hindered Amines Light Stabilizers).

Así existen dos grandes grupos de aditivos:

- a- Aditivos de proceso. Destinados a evitar la degradación térmica durante la extrusión (antioxidantes) o para mejorar la procesabilidad del polímero.
- b- Aditivos de aplicación. Se añaden al polímero con el fin de obtener las cualidades deseadas: deslizantes, antibloqueo, estabilizantes frente a UV, aditivos térmicos, pigmentos.

El PE transparente tiene un poder absorbente de 5 al 30% en los espesores utilizados en agricultura; el poder de reflexión es de 10 al 14%; el poder de difusión es bajo. Según esto, la transparencia del PE está comprendida entre el 70-85%, es decir, dentro del recinto cubierto por el material plástico se percibe un 15-30% menos de luz aproximadamente que en el exterior.

Atendiendo a su densidad los PE se clasifican en:

Baja densidad: < 930 kg/m<sup>3</sup>.

Media densidad: 930 – 940 kg/m<sup>3</sup>.

Alta densidad: > 940 kg/m<sup>3</sup>.

El PE de baja densidad es el material plástico que menos resistencia tiene a la rotura. El de alta densidad tiene más resistencia que el PVC flexible pero menos que el resto de los demás plásticos. Se desgarrar con facilidad. El PE es el material plástico que menos densidad tiene; es decir, es el que menos pesa por unidad de superficie a igualdad de grosor. No se oscurece como ocurre con el PVC y el poliéster. Debido a su gran transparencia, el PE transparente da lugar durante el día a un elevado calentamiento del aire y suelo del interior del invernadero.

Por todos estos factores anteriormente expuestos se considera que la mejor elección para el invernadero que estamos diseñando es el POLIETILENO NORMAL DE LARGA DURACIÓN (densidad media) para la colocación del material de cubierta.

En el mercado existen tres tipos de polietileno:

*a) Polietileno Normal.*

Presenta muy poca opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo; es permeable en un 70% a las radiaciones de longitud de onda larga que emiten el suelo y las plantas. En el PE transparente normal se forma una lámina de agua, que aunque tiene inconvenientes para los cultivos, retiene un poco el calor que emiten las plantas y el suelo durante la noche. Las láminas de PE normal, cuando se utilizan como cubierta de invernadero, sino lleva en su composición antioxidantes e inhibidores de rayos UV, la duración de éstos tipos de plásticos no excede de un año, reduciéndose a 10 meses cuando la luminosidad es muy fuerte y prolongada y las oscilaciones térmicas son considerables.

*b) Polietileno Normal De Larga Duración.*

Este tipo de PE tiene unas características idénticas al PE normal, a excepción de su duración, que es bastante mayor, debido a los antioxidantes e inhibidores que lleva en su composición. La duración de este tipo de plástico es de 2 a 3 años, según la luminosidad y el régimen de viento al que se éste expuesta la lámina.

*c) Polietileno Térmico De Larga Duración.*

El PE transparente térmico es un plástico que tiene la propiedad de dificultar mucho el paso de las radiaciones nocturnas (tiene una permeabilidad del 18% a las radiaciones longitud de onda larga en grosores de 800 galgas). Esto permite a los invernaderos cubiertos con este material que se anule casi en su totalidad la inversión térmica y que las temperaturas mínimas absolutas sean de unos 2 ó 3 °C más elevadas a las registradas en cubiertas de PE normal.

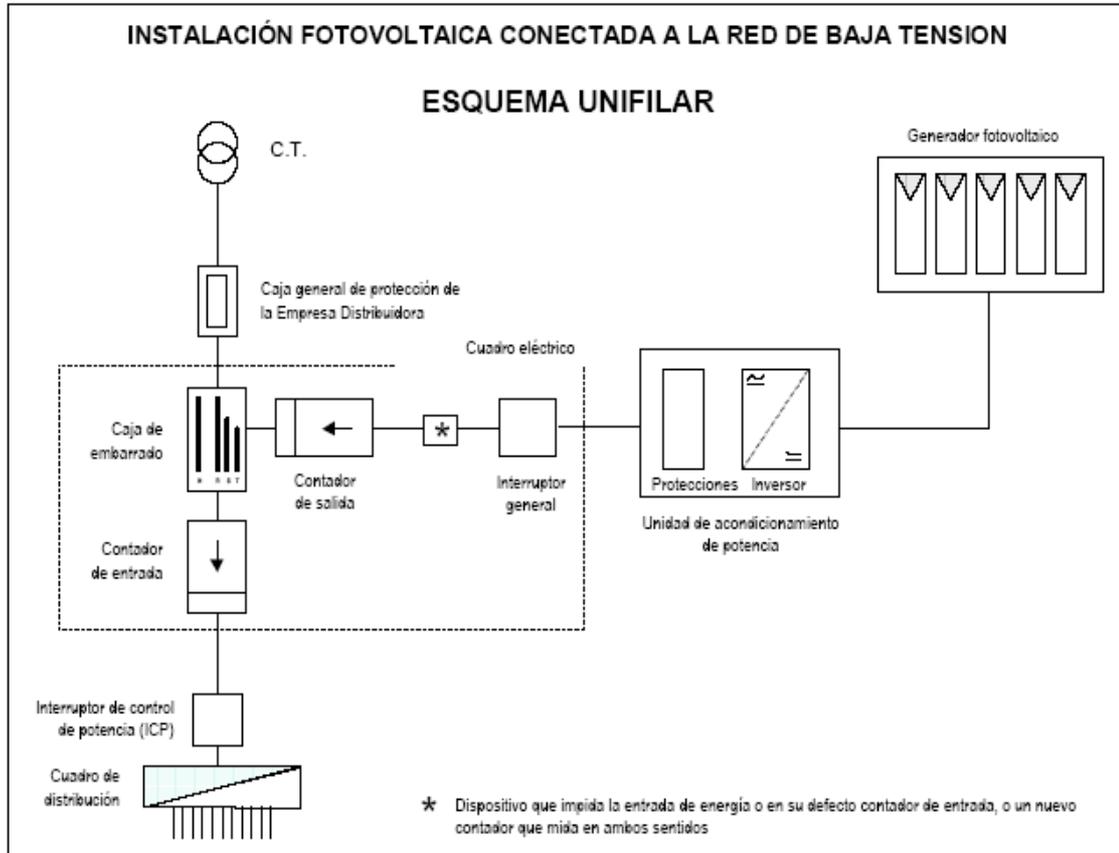
El PE transparente térmico, por los aditivos que se emplean en su fabricación, tienen un gran poder de difusión de la luz, que en algunas marcas comerciales puede llegar al 55% de la radiación luminosa que atraviesa la lámina de plástico; también, por la misma razón de los aditivos añadidos, tienen un buen efecto antigoteo.

## 4. MEMORIA TÉCNICA. INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICAS.

### 4.1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA.

Para poder llevar a cabo estas instalaciones primeramente se deberá contar con la existencia de una línea de distribución eléctrica cercana con capacidad para admitir la energía producida por la instalación fotovoltaica. En los lugares en los que se dispone de electricidad, la conexión a red de los sistemas fotovoltaicos contribuye a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera. El consumo de electricidad es independiente de la energía generada por los paneles fotovoltaicos. El usuario compra la electricidad que consume a la distribuidora al precio establecido y además puede facturar los kWh generados a un precio superior, ya que en España, la electricidad generada con sistemas fotovoltaicos goza de una prima que mejora su rentabilidad económica. Además gracias a este sistema se eliminan las pérdidas en transporte de electricidad.

En las instalaciones conectadas a red, el tamaño de la instalación es independiente del consumo de electricidad del edificio, lo que simplifica en gran medida su diseño. Para dimensionar la instalación habrá que tener en cuenta la inversión inicial y el espacio disponible así como la rentabilidad que se desea alcanzar con la venta de la electricidad generada.



Los elementos que componen la instalación son:

- **Generador fotovoltaico:** transforma la energía del sol en energía eléctrica.
- **Cuadro de protecciones:** Contiene alarmas, desconectores, protecciones, etc...
- **Inversores:** Son los elementos que adaptan la energía entregada por el generador fotovoltaico (en forma de corriente continua) a las condiciones requeridas por los diferentes tipos de cargas, ya sean éstas en corriente continua, en corriente alterna o inyección de energía directamente a la red. Son muchos los tipos de inversores, que utilizando diferentes tecnologías, se comercializan en la actualidad. A los empleados en instalaciones conectados a la red eléctrica se les exige una baja producción de armónicos, su adaptación a cualquier red eléctrica y una generación con alto factor de potencia.
- **Contadores:** Se requieren dos contadores con finalidades distintas. Un contador principal contabiliza la energía producida y enviada a la red para que pueda ser facturada a la compañía a los precios estipulados. Por otro lado, un contador secundario mide los pequeños consumos de los equipos fotovoltaicos para descontarlos del total de la energía producida.

## 4.2. DISEÑO DE LA CUBIERTA SOLAR FOTOVOLTAICA.

La instalación objeto del presente estudio es un invernadero para el cultivo de hortalizas, frutas y verduras localizado en el término municipal de El Ejido, provincia de Almería, salida 409 de la Autovía del Mediterráneo.

El invernadero posee una superficie total de 0'88 hectáreas que sumadas al terreno ocupado o destinado a las instalaciones complementarias que lleva adheridas un invernadero, más el espacio necesario para instalar la cubierta solar fotovoltaica da un total aproximado de 2 hectáreas.

En el caso que nos ocupa, la colocación de los paneles fotovoltaicos se realizará sobre unas estructuras especialmente diseñadas para su soporte, las cuales se montarán sobre una prolongación de cada módulo de invernadero que posteriormente detallaremos. Por lo tanto, cogeremos un poco de cada aplicación expuesta anteriormente en el apartado 2.3.4 *Posibilidades de integración*, ya que será un *sistema expuesto en el tejado de un edificio*, será una *planta de producción* por tratarse de un zona rural no aprovechada e *integración en edificios* por quedar la instalación prácticamente integrada en el invernadero.

## 4.3. COMPONENTES DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.

A continuación se incluye tabla resumen de los principales componentes del sistema solar fotovoltaico propuesto.

ELEMENTO	MARCA	MODELO
Panel Solar Fotovoltaico	ATERSA	A-120
Inversor	SPUTNIK	SOLARMAX 6000C
Estructura Soporte	ATERSA	ESTR. SOPORTE TIPO "V"

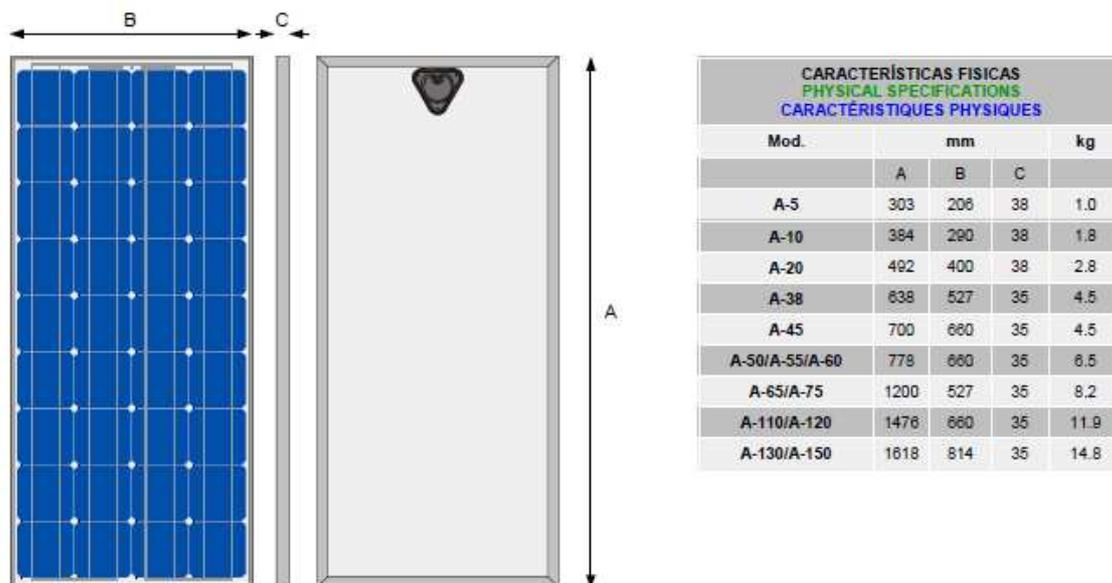
### COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN

En el *ANEXO B* del presente proyecto se adjuntan catálogos comerciales de los equipos propuestos, mientras que en apartados sucesivos se exponen con detalle las características técnicas de cada uno de los componentes del sistema solar fotovoltaico.

#### 4.3.1. PLACAS SOLARES.

El módulo solar propuesto es el modelo *A-120* del fabricante ATERSA.

La elección de este modelo de placa solar monocristalino frente a otros existentes en el mercado se ha llevado a cabo por varios motivos: La red cristalina tiene muy pocas imperfecciones, aunque el proceso de cristalización es complicado y costoso, se ha mejorado mucho en el estudio de estos modelos y actualmente es el que proporciona la mayor eficiencia de conversión de luz en energía eléctrica, el rendimiento de los módulos de silicio monocristalino es del 13-15%, superior a cualquier modelo de cualquier otro material que constituya la placa solar fotovoltaica.



## **CARACTERÍSTICAS DE LAS PLACAS SOLARES A-120**

Los módulos fotovoltaicos ATERSA han sido diseñados con materiales de última generación que les proporcionan robustez y unas excelentes cualidades de impermeabilidad y estanqueidad que avalan su larga vida, permitiendo el perfecto funcionamiento de los sistemas incluso en las condiciones climáticas más duras. Están contruidos con células de silicio monocristalino que garantizan la producción eléctrica desde el amanecer hasta el atardecer.

Todos los modelos desde 40W llevan caja de conexiones intemperie con terminales positivo y negativo que incorporan diodos de derivación (by-pass) cuya misión es evitar la posibilidad de rotura del circuito eléctrico en el interior del módulo por sombreados parciales de las células.



**PLACAS SOLARES ATERSA**

### *MATERIALES*

El largo bagaje de ATERSA en la fabricación de módulos fotovoltaicos, sitúa a la empresa en una posición inmejorable a la hora de elegir los materiales más adecuados para su producción, lo que significa garantía de calidad para sus productos.

Cada módulo está formado por un cristal con alto nivel de transmisividad. Cuenta con uno de los mejores encapsulantes utilizados en la fabricación de los módulos, el etil-viniloacetato modificado (EVA). La lámina posterior consta de varias capas, cada una con una función específica, ya sea adhesión, aislamiento eléctrico, o aislamiento frente a las inclemencias meteorológicas. Además, el marco está fabricado con aluminio y cuenta con una capa externa de pintura que provee al perfil de una resistencia mucho mayor que el anodizado típico.

Gracias al sistema utilizado en los marcos de ATERSA, se ha conseguido aunar tanto el propósito de dar rigidez mecánica al laminado, cumpliendo todas las normas requeridas, así como un sistema fácil y rápido de montaje, que consigue reducir hasta 3 veces el tiempo necesario para la instalación de los módulos.

### *CALIDAD*

Todos los productos de ATERSA se fabrican bajo las estrictas normas de calidad dictadas por la ISO 9001, certificado que posee la compañía desde el año 1997. Esta serie de módulos cumple

con las directivas europeas 2006/95/EC, con la IEC 61215 e IEC 61730 a 1000V. Entre otras pruebas, los módulos han sido sometidos a 200 ciclos frío-calor de -40°C a +85°C, ensayos de carga mecánica, así como pruebas de resistencia al granizo consistentes en el impacto de una bola de 25,4mm de diámetro a una velocidad de 82 Km/h, once veces sobre el módulo.

La caja de conexiones QUAD 2 dispone de un grado de estanqueidad IP 54, que provee al sistema de un buen aislamiento frente a la humedad e inclemencias meteorológicas. La caja es capaz de albergar cables de conexión con un diámetro exterior desde 4,5mm hasta 10mm.

#### **GARANTIA**

Garantía de hasta 25 años sobre la potencia de salida y de 3 años contra los defectos de fabricación. (Para una información más exhaustiva de los términos de la garantía, pueden consultar nuestra página web:).

A continuación se adjuntan las características técnicas del módulo solar propuesto:

<b>Característica Eléctrica / Física</b>	<b>Descripción</b>
Nº de Células	36 de 6"
Potencia	120 W
Corriente en unto de máxima potencia:	7,10 A
Tensión en punto de máxima potencia:	16,9 V
Corriente de Cortocircuito:	7,70 A
Tensión de circuito abierto:	21,0 V
Longitud:	1477 mm
Anchura:	660 mm
Espesor	35 mm
Peso:	11,9 kg

#### **4.3.2. INVERSOR.**

El inversor propuesto es el modelo SOLARMAX 6000C del fabricante SPUTNIK y está especialmente indicado para las instalaciones fotovoltaicas de conexión a red.

La gama de inversores SOLARMAX está diseñada específicamente para aplicaciones de conexión a red a partir de un generador fotovoltaico.

Su facilidad de utilización, nulo mantenimiento y bajo nivel sonoro los hace muy adecuados tanto en entornos domésticos como industriales.



**INVERSOR SOLARMAX 6000C**

El SOLARMAX dispone de un sistema de control que le permite un funcionamiento completamente automatizado. Durante los periodos nocturnos el inversor permanece parado vigilando los valores de tensión de la red y del generador fotovoltaico. Al amanecer, la tensión del generador aumenta, lo que pone en funcionamiento el inversor, que comienza a inyectar corriente en la red.

Están protegidos frente a situaciones como:

- Fallo en la red eléctrica.
- Tensión de red fuera de rango.
- Frecuencia de red fuera de los límites de trabajo.
- Temperatura del inversor elevada.
- Tensión del generador fotovoltaico baja.
- Intensidad del generador fotovoltaico insuficiente.

Los inversores SOLARMAX pueden acoplarse en paralelo, conformando así un sistema abierto a posibles ampliaciones futuras.

A continuación se adjunta tabla con las principales características técnicas del inversor propuesto:

Característica Eléctrica / Física	Descripción
Voltaje máx. de entrada	600 V
Rango MPP	90...560V
Máxima potencia entrada	6600 Wp
Máxima tensión entrada	22 A
Potencia de salida	4600 W
Factor de potencia	>0.98
Máxima eficiencia	97%
Eficiencia media	96.2 %
Temperatura de trabajo	-20°C...+50°C
Índice de protección	IP54
Dimensiones	550 x 250 x 200 mm
Peso	15 kg

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL INVERSOR SOLARMAX 6000 C**

**4.3.3. ESTRUCTURA.**

La estructura escogida para albergar los paneles solares fotovoltaicos de cada módulo de invernadero (total 11 módulos) será del tipo “soporte en V” del fabricante ATERSA. Esta estructura podrá anclar 4 paneles cada una.

Estructura	Nº de módulos	Módulos	Instalación
Tipo "A"	4 ó 5	A-65, A-75	Suelo
	4	A-127	
Tipo "V"	3, 4 ó 5	A-65, A-75	Tejado ó terraza plana
	2, 3 ó 4	A-66, A-120, A-127	
	2 ó 3	A-150, A-160	
Tipo "S"	3 ó 4	A-65, A-75, A-127, A-150, A-160	Suelo
Tipo "O"	1 ó 2	A-66, A-65, A-75	Pared
	1	A-127, A-150, A-160	
Tipo "H"	1 ó 2	A-30, A-35, A-65, A-66, A-75	Columna de ø60mm.
	1	A-10, A-20, A-127, A-150,A-160	
Tipo "B"	1 ó 2	A-30, A-35, A-65, A-66, A-75	Columna de ø70 mm.
	1	A-10, A-20, A-127, A-150, A-160	
A-1 Juego de soportes de aluminio	1	A-30, A-35, A-65, A-66, A-75, A-120, A-127	Tejado y pared

Esta propuesta de soporte de paneles plantea un sistema modular ya utilizado desde hace años para otras aplicaciones en distintos gremios de la instalación. Se compone de carriles sencillos y dobles, con distintas medidas de sección dependiendo de las cargas a soportar y un conjunto de piezas accesorias para realizar las uniones.



**ESTRUCTURA DE SOPORTE TIPO V (especial techados planos)**

Las estructuras de ATERSA están diseñadas para soportar las inclemencias meteorológicas. Los materiales empleados son el acero galvanizado en caliente (normas UNE 37-501 y UNE 37-508), que cumple con los espesores mínimos exigibles según la norma UNE EN ISO 1461. La tornillería utilizada es galvanizada ó de acero inoxidable y cumple la Norma MV-106.

En el cálculo de la estructura de soporte de placas solares se considerarán la simultaneidad de acciones, aunque por su tipología habitual, las acciones de efectos más desfavorables serán las acciones del viento sobre las placas solares y las de carga de nieve. Las primeras serán de particular importancia en las instalaciones de plano exento, con un ángulo de inclinación que se considera típico de 35° sobre la horizontal. Se admite que la acción del viento, en general, es una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática.

Aunque existen modelos-tipos de instalaciones solares, la diversidad de situaciones con las que se puede encontrar el instalador hace necesario cada vez más trabajar con sistemas flexibles que permitan adaptarse a los requerimientos de obra y que cumplan con los requisitos que marca la normativa.

### *MODELOS BÁSICOS DE MONTAJE*

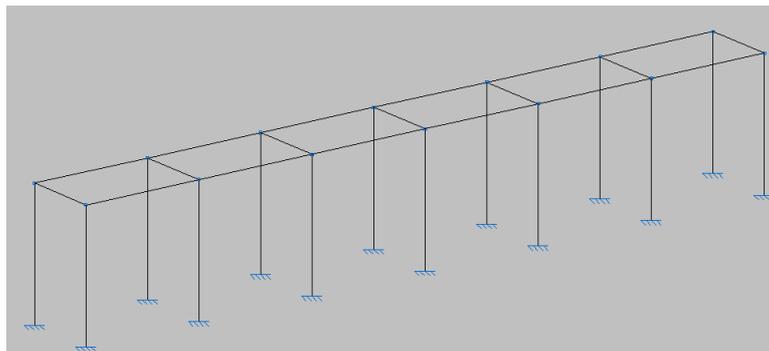
Algunos de los modelos básicos de montaje que se encuentran son los siguientes:

1.- Estructura inclinada a suelo: Estructura típica de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red. Es necesario contar con elementos flexibles que permitan adaptar el ángulo de la estructura para conseguir la inclinación óptima.

2.- Estructura inclinada a cubierta: Aplicación habitual para la instalación de colectores térmicos en bloques de viviendas y de fotovoltaica en naves industriales. La estructura se ancla a la cubierta, bien a una bancada de hormigón o bien a las correas de los edificios industriales.

3.- Estructura integrada en cubierta: Solución habitual en viviendas unifamiliares y en naves industriales. Hay que buscar la máxima integración arquitectónica con el máximo rendimiento de los paneles solares.

En nuestro caso colocaremos las estructuras soporte tipo V de Atersa sobre plataformas diseñadas especialmente para la ocasión. Estas plataformas irán colocadas en el lado Norte y Sur del invernadero con una altura igual al punto más alto del invernadero, de forma que no se produzca sombreado sobre las placas solares fotovoltaicas. Las placas, tanto las del lado Norte y las del lado Sur estarán orientadas hacia el Sur, a una altura de 4'3 metros y fijadas en la estructura tipo V, con una inclinación fija de 35°.



**PLATAFORMA SOPORTE PLACAS SOLARES.**

#### **4.4. DIMENSIONADO. CRITERIOS DE DISEÑO.**

El punto de partida en el dimensionado básico de instalaciones fotovoltaicas de conexión a red es el criterio a considerar a la hora de diseñar. Estos pueden ser:

- Potencia máxima a instalar (potencia pico  $W_p$ ).
- Potencia en inversores (potencia en la inyección a la red  $W$ ).
- Superficie disponible (superficie en  $m^2$  e inclinación prefijadas) ( $150 W_p \sim 1m^2$ ).
- Costes (existencia de presupuesto prefijado) ( $1 W_p \sim 6 \text{ €}$ ).

En nuestro caso el dimensionado de la instalación solar fotovoltaica vendrá condicionado por la superficie disponible, ya que aún disponiendo de terreno suficiente, se ha buscado el realizar un proyecto aplicable a la mayoría de instalaciones de rurales de invernadero de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Esta superficie serán dos filas de 88 metros de longitud que miden los 11 módulos de invernadero de anchura por 2'5 metros (anchura que ocupan las placas). Da un total de 440 m<sup>2</sup>.

Una vez seleccionado el tamaño de la instalación, la orientación e inclinación recomendada será aquella que maximice la producción energética anual. La orientación recomendada en Andalucía, y en todo el hemisferio norte, siempre es Sur, existiendo pérdidas de producción en relación a las posibles desviaciones de esta orientación óptima. Respecto a la inclinación, en Andalucía la recomendada es la más próxima a la latitud de la región (~35°), estando el margen recomendado entre 30-40°.

Una vez seleccionado el módulo fotovoltaico, se diseña su modo de conexión para formar el campo generador fotovoltaico y se elige el inversor. Se realizará un cálculo de prestaciones energéticas de la instalación en el cual deberán considerarse las pérdidas del sistema: en el generador fotovoltaico (suciedad, conexiones, punto de trabajo de cada subcampo, transmitancia, eficiencia a baja irradiancia, temperatura de operación de la célula, etc.), en el inversor (rendimiento y seguimiento del punto de máxima potencia) y en el cableado. Se puede considerar, en general, que el factor de pérdidas ascienda al 10% de la producción ideal (por tanto un rendimiento del 90%).

Como resultado del balance de energía, la energía estimada que es capaz de generar una instalación fotovoltaica conectada a red vendrá dada por la siguiente expresión:

$$\text{EFV (kWh)} = \text{Potencia instalada (Wp)} \times \text{N}^\circ \text{ Placas} \times \text{Factor de pérdidas}$$

$$\text{EFV} = 120\text{Wp} \cdot 440 \text{ placas} \cdot 0'9 = 47'5 \text{ kW}$$

A continuación se describen unas recomendaciones para diseñar el campo fotovoltaico y seleccionar el inversor adecuado hay que tener en cuenta:

- Elegir el módulo adecuado y diseñar las conexiones serie-paralelo de éstos, teniendo en cuenta que el inversor seleccionado tendrá mejor rendimiento si el campo fotovoltaico trabaja a tensiones mayores que si lo hace a tensiones menores. La tensión de trabajo vendrá fijada por el número de módulos conectados en serie.
- El número de módulos en paralelo será el resultado de dividir el número total de módulos entre el número de módulos en serie, ya elegido.
- Para obtener un acoplamiento adecuado entre el generador fotovoltaico y el inversor la relación de potencias recomendable es

$$W / W_p \sim 0,8$$

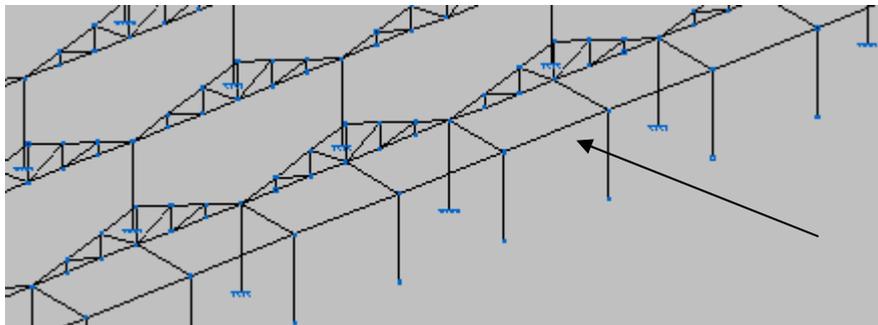
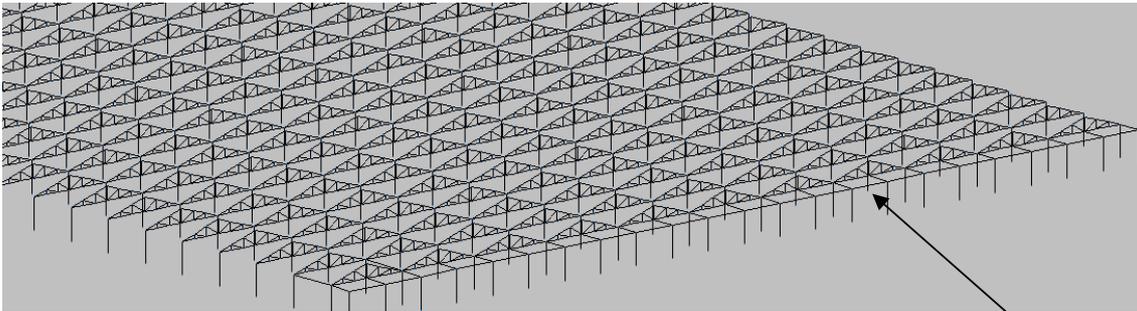
En el caso de querer asegurar la producción, se puede subdividir el campo fotovoltaico en varios subcampos con sus correspondientes inversores.

- El inversor deberá seleccionarse teniendo en cuenta su rango de tensiones de trabajo de entrada y salida, comprobando que incluye la tensión de salida del campo fotovoltaico, atendiendo siempre a las recomendaciones del fabricante.

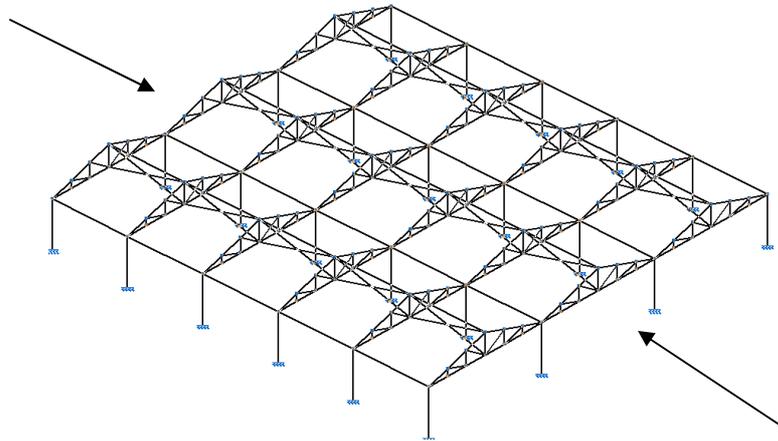
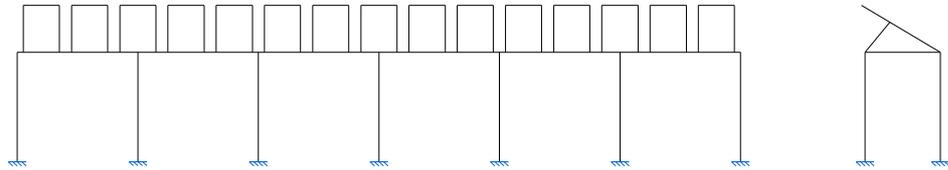
#### 4.4.1. NÚMERO TOTAL DE PANELES.

En los siguientes apartados se detallan los aspectos que se han tenido en consideración para el dimensionado óptimo de la instalación fotovoltaica que nos ocupa. En cualquier caso, la cubierta no ha sido dimensionada en función de las necesidades energéticas del edificio, sino que ha estado condicionada a la superficie disponible y a criterios estéticos, arquitectónicos y de sostenibilidad, es decir, no se pretende conseguir la autosuficiencia energética de la instalación (ya que ésta es mínima), sino que se persigue el aprovechamiento óptimo de la cubierta con objeto de instalar el máximo número de generadores fotovoltaicos posibles. Se ha diseñado a modo de una minicentral eléctrica que vierte la energía producida a la red general.

En nuestro caso las dimensiones de la instalación solar fotovoltaica vendrán definidas por las dimensiones del invernadero que hemos proyectado. Teniendo en cuenta dónde colocaremos las placas solares, disponemos de dos carriles de 88 metros cada uno que vienen dados por los 11 módulos de invernadero.



**REPRESENTACIÓN DE LOS SOPORTES TIPO “V” SOBRE LA ESTRUCTURA PORTANTE  
(Vista frontal y lateral)**



Con una longitud de los paneles solares A-120 de 1.476 mm (redondeamos a 1.5 m), por cada módulo de invernadero (8 metros de anchura) caben 5 placas en fila americana.

$$1.477 \text{ mm} \times 5 \text{ placas} = 7.385 \text{ mm}$$

$$8.000 \text{ mm} - 7.385 = 615 \text{ mm.}$$

Quedaría un espacio sobrante por módulo de invernadero de 615 mm.

Si tenemos en cuenta que por cada soporte de paneles solares se colocan 4 placas, por 5 filas por módulo, por 11 módulos y por 2 (lado Norte y lado Sur), da un total de 440 placas solares instaladas.

#### 4.4.2. INCLINACIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS PANELES SOLARES.

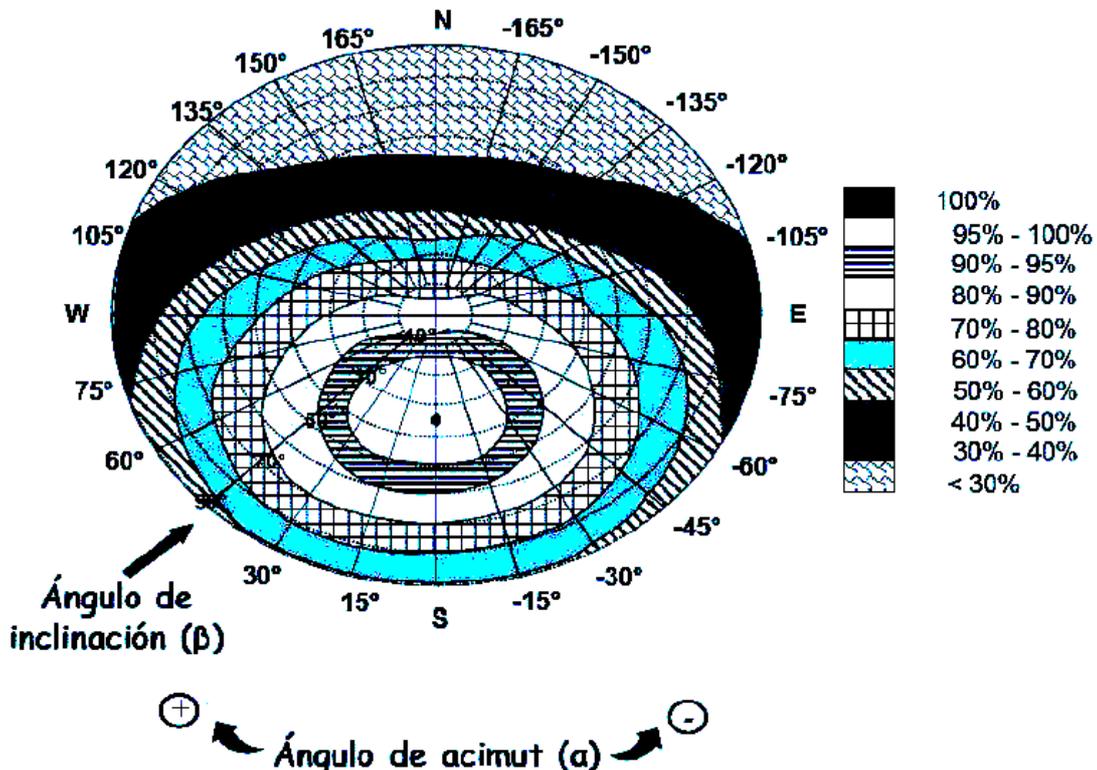
Un factor que juega un papel muy importante en la producción energética es la inclinación y orientación de los mismos paneles ya que, la incidencia solar puede ser más o menos acusada por tanto, aumentando o disminuyendo la producción.

El ángulo de incidencia del rayo solar sobre la superficie captadora determina a su vez la densidad de rayos solares que entrarán dentro de una superficie determinada. Una superficie situada perpendicularmente a la trayectoria de la radiación solar, recogerá más rayos solares que otra superficie de la misma dimensión con una inclinación distinta. Como el Sol tiene dos tipos de movimiento aparente sobre el horizonte, el recorrido azimutal y el de altura, el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre una superficie fija varía constantemente a lo largo del día, y de un día a otro.

Para el caso de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en los que los módulos solares están dispuestos a una inclinación fija a lo largo de todo el año, como es el caso que nos ocupa, el criterio a seguir para obtener una optimización global del sistema consiste en dar un grado de inclinación tal que permita recibir la mayor cantidad de energía en el cómputo global del año. Para poder determinar una buena combinación entre la inclinación  $i$  la orientación, es poder utilizar la herramienta que nos proporciona el IDAE. Nos muestra el provecho de la radiación solar dependiendo de la inclinación del paneles o módulo, al cual llamaremos “ángulo de inclinación”, el segundo termino que contiene el gráfico es la orientación del los paneles donde llamaremos “ángulo de acimut”.

El punto negro es la única zona del gráfico donde la incidencia solar es máxima por tanto, elegiremos una inclinación del panel de  $35^\circ$  y una orientación sur.

DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS POR INCLINACIÓN I ORIENTACIÓN.



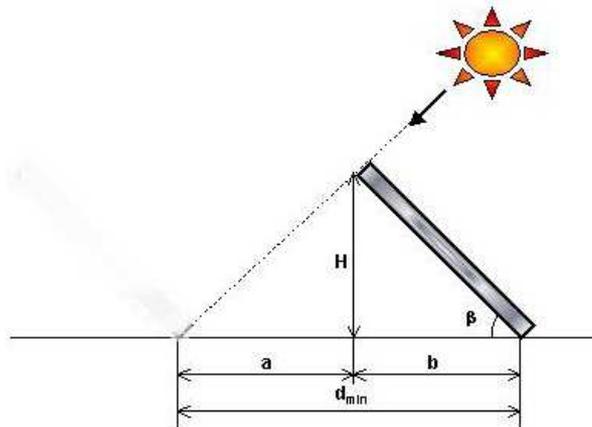
#### 4.4.3. CÁLCULO DE SOMBRAS.

La presencia de objetos que lleguen a tapan una parte del recorrido solar respecto a un punto de captación solar, provocará la proyección de sombra sobre éste. Cuanto mayor sea el recorrido solar tapado por dicho objeto, menos energía podrá captar. En el día más desfavorable del periodo de utilización del sistema, los módulos solares no han de tener más del 5% de la superficie útil de captación cubierta por sombras. Resultaría inoperante si el 20% de la superficie de captación estuviese sombreada. En el caso que nos ocupa, no existen edificios, construcciones, etc... más altos que la estructura que servirá de apoyo a los paneles solares, tampoco se observan montañas, árboles o cualquier otro obstáculo cercano.

Será necesario tener en cuenta el sombreado en la fila de paneles solares de cada módulo (la que se encuentra en el lado Sur), ya que estarán colocados en la parte frontal del invernadero y podrían producir excesivas sombras al cultivo. Para evitar eso realizaremos un estudio de sombreado.

En instalaciones que se utilicen todo el año, como es el caso que nos ocupa, el día más desfavorable corresponde al 21 de diciembre. En este día la altura solar es mínima y al mediodía solar tiene el valor siguiente:

$$H = (90^\circ - \text{latitud del lugar}) - 23,5^\circ$$



De la figura anterior deducimos:

$$d_{\min} = l \cdot \left( \cos \beta + \frac{\text{sen} \beta}{\text{tg} H} \right)$$

Donde:

- $d_{\min}$  es la distancia total que está a la sombra de los paneles expresada en metros.
- $l$  es la longitud del módulo (incluido el marco y el soporte correspondiente).
- $H$  altura solar en el mediodía del mes más desfavorable.
- $\beta$  es el grado de inclinación de los módulos respecto a la horizontal.

En el caso que nos ocupa será:

- Latitud del lugar: 36,78 °
- Altura solar al mediodía del mes más desfavorable (invierno):

$$H = (90^\circ - 36,78^\circ) - 23,5^\circ = 29,72^\circ$$

- Longitud de la placa solar: L1 = 3 m (4 paneles).
- Inclinación óptima de los paneles:  $\beta = 35^\circ$

Por lo que la sombra máxima será:

$$d_{\min}(1) = 3 (\cos 35^\circ + \sin 35^\circ / \tan 29,72^\circ) = \mathbf{5,4 \text{ m}}$$

La sombra no será un problema para el cultivo en las zonas afectadas por la presencia cercana de las placas solares debido a que parte de estos 5'4 metros serán zonas de paso.

#### 4.4.4. CONEXIONADO A LA RED ELÉCTRICA.

Tal y como se ha calculado anteriormente, el nº máximo de paneles admisible para cada módulo de invernadero tipo multitúnel es de 40 paneles (2 filas de 20). Teniendo en cuenta que trabajaremos con 11 módulos, nos daría un total de 440 paneles fotovoltaicos.

#### *DIMENSIONADO DE LOS INVERSORES.*

El Inversor seleccionado para esta instalación es el SOLARMAX 6000C del fabricante SPUTNIK, el cual posee una potencia nominal de 4,6 kW, admite una potencia en el generador fotovoltaico de hasta 6.600 Wp, con una tensión máxima de entrada de 600V. Al tratarse de una instalación eléctrica de más de 5 kW es necesario hacer la conexión a la red de la empresa suministradora de forma trifásica, optando por instalar 9 inversores monofásicos de 4,6 kW de potencia nominal cada uno, uno por fase, tal como establece el artículo 9 del Real Decreto 1663 de 29 de septiembre de 2000.

Se ha estudiado la mejor forma de interconectar todos los paneles en la configuración propuesta siguiendo las indicaciones del fabricante de los inversores mediante la utilización de la aplicación informática MAXDESIGN, creada y distribuida gratuitamente por el propio fabricante con objeto de aprovechar al máximo el rendimiento de los inversores. El resultado óptimo se ha obtenido para una configuración de **440 módulos solares** y **9 inversores**. Para cada uno de los inversores se conectarán 2 baterías en paralelo de 16 paneles serie cada una y una batería de 17 paneles.

Por tanto, se distribuirán los 440 paneles en campos solares de 49 módulos solares cada uno, excepto un inversor que tendrá 48.

Para poder obtener la línea trifásica alterna equilibrada, el número total de inversores tiene que ser múltiplo de tres, en este caso tenemos 9 inversores por lo que cada 3 inversores alimentarán una fase de la red, con una potencia máxima vertida a la red de 13,8 kW por fase.

A continuación calcularemos la potencia producida por el tejado fotovoltaico:

$$V_{inv} = N_s \times V_p = 17 \times 16,9 = \mathbf{287,30 V}$$

Donde:

Ns: n° módulos serie

Vp: tensión máxima que puede proporcionar un panel (V)

Vinv: tensión trabajo inversor (V)

Sabiendo que cada inversor puede trabajar con una potencia de entrada de 6600 Wp, podremos calcular la intensidad que han de generar los módulos fotovoltaicos:

$$I_{dc} = P_{inv} / V_{inv} = 6600,00 / 287,3 = \mathbf{22,97 A}$$

Donde:

I<sub>dc</sub>: intensidad de entrada al inversor (A)

P<sub>inv</sub>: potencia de entrada al inversor (W)

V<sub>inv</sub>: tensión de entrada al inversor (V)

Una vez conocida la intensidad generada de los paneles, podemos verificar el número de series de 16 y 17 módulos que hemos de conectar en paralelo por inversor:

$$N_p = I_{dc} / I_m = 22,97 / 7,1 = 3,23 \quad * \mathbf{3 \text{ ramas en paralelo}}$$

Donde: N<sub>p</sub>: n° módulos en paralelo

I<sub>dc</sub>: intensidad de entrada al inversor (A)

I<sub>m</sub>: intensidad máxima que proporciona un módulo fotovoltaico.

Al conectar 3 módulos en paralelo se obtiene una intensidad de instalación de cada inversor:

$$I_{inst.} = N_p \times I_m = 3 \times 7,1 = \mathbf{21,3 A}$$

Siguiendo las recomendaciones del fabricante, instalaremos 48 módulos por cada inversor, 3 ramas en paralelo de 16 módulos en serie cada una. A partir de aquí podemos calcular la potencia de la instalación para cada inversor teniendo en cuenta la modificación realizada:

$$V_{inv} = N_s \times V_p = 16 \times 16,9 = \mathbf{270,40 V}$$

$$P_{inst} = I_{inst.} \times V_{inv} = 21,3 \times 287,3 = \mathbf{6.119,49 Wp}$$

A partir de aquí y teniendo en cuenta que el n° de inversores a instalar es de 9, podemos calcular la potencia global producida por la instalación fotovoltaica:

$$P_p = N_{inv} \times P_{inv} = 9 \times 6.119,49 = 55.075,41 \text{ Wp} = \mathbf{55,07 \text{ kWp}}$$

El hecho de que la potencia instalada sea superior a la potencia de salida de los inversores no supone ningún inconveniente, ya que se ha de tener en cuenta que la potencia pico (Wp) es una potencia medida en laboratorio, calculada a partir de un eje lumínico de 1000 W/m<sup>2</sup>, normal a la superficie y en un ambiente con temperatura a 25°C, con el objetivo de comparar las placas de los diferentes fabricantes.

En situación de explotación real no se consigue una irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup> sobre superficies inclinadas más que en algunos mediodías solares del mes de enero, en los que los rayos solares son los más bajos de todo el año. Esta información puede ser contrastada en los datos obtenidos de la explotación real de algunos campos solares en Andalucía.

Dimensionando el campo solar por encima de la capacidad de producción de los inversores se consigue mantener los niveles de generación de energía facturable al máximo de su capacidad durante la mayor parte del periodo de funcionamiento, y por lo tanto mejora el rendimiento económico por Wp instalado.

#### *CARACTERÍSTICAS DE LA INTERCONEXIÓN.*

La interconexión entre la generación y la red se efectuará mediante un interruptor automático sobre el que actuarán los equipos de protección y maniobra. La interconexión se compone de las siguientes partes:

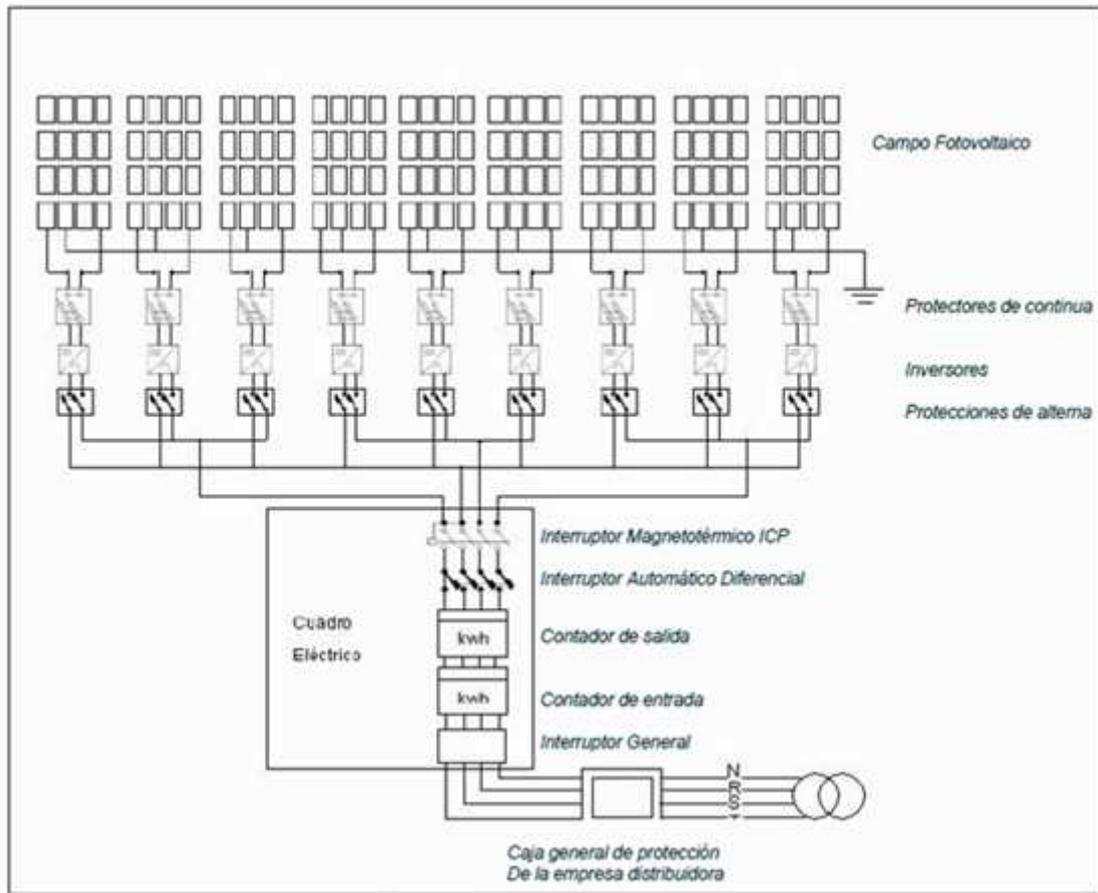
- **Circuito de Potencia:** En el esquema unifilar adjuntado a continuación se definen los elementos que configuran el circuito de potencia de la interconexión.

- **Protecciones:** Las protecciones eléctricas tienen como objetivo asegurar la protección de las personas y cosas, así como mantener el nivel de calidad del servicio de la red. Para ello se dispondrán un conjunto de elementos destinados a tal fin que actuarán sobre el interruptor de interconexión.

Tanto la instalación como la utilización de las protecciones de conexión, se realizan de acuerdo a la normativa vigente y a las normas particulares establecidas por la compañía suministradora. Con las protecciones se podrán proteger las instalaciones propias y las de la compañía suministradora. También se podrá aislar la instalación en caso de avería interna. Las protecciones a instalar son las que se recogen en el esquema unifilar.

- **Medida:** Finalmente se instalará un contador de medida de la energía generada (venta) y otro para la medida de la energía importada de la compañía eléctrica (compra).

A continuación se adjunta esquema unifilar de la instalación:



ESQUEMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN

#### 4.4.5. CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA POR LA INSTALACIÓN.

Para estimar la producción mensual teórica de energía eléctrica generada por la instalación, se partirá de los datos de radiación solar del emplazamiento del edificio extraídos del *Atlas de Radiación Solar* y se utilizará la ecuación siguiente:

$$P_i \text{ (kWh)} = I_i \text{ (kWh/m}^2) \times P_p \text{ (kWp)} \times N$$

Siendo  $P_i$  la energía generada en un mes,  $I_i$  la irradiancia en el mes,  $P_p$  la potencia nominal del panel  $i$  (120 Wp)  $N$  el nº de paneles del campo fotovoltaico (440).

	Radiación (KWh/m <sup>2</sup> )	Energía (KWh)
Enero	76,9	4234,88
Febrero	99	5451,93
Marzo	139,3	7671,25
Abril	179,7	9896,07
Mayo	218,2	12016,27
Junio	237,4	13073,61
Julio	246,4	13569,24
Agosto	237,2	13062,60
Septiembre	193,8	10672,56
Octubre	159,2	8767,14
Noviembre	100,2	5518,01
Diciembre	74,8	4119,23
TOTAL	1962,1	108052,79

**PRODUCCIÓN MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

La producción real de energía generada por la instalación siempre será muy inferior al valor teórico calculado, dado que las condiciones de explotación no serán las de laboratorio y los diferentes elementos que intervienen en el sistema: paneles, conductores eléctricos, inversores, etc., producen unas pérdidas que reducen notablemente la eficiencia del conjunto. Así mismo, la distribución y orientación de los paneles sobre la cubierta, y las proyecciones de sombras sobre éstos, originan una serie de pérdidas adicionales que deben ser contempladas.

Estas pérdidas pueden rondar aproximadamente el 10% de la energía generada teórica.

**4.4.6. RESUMEN DE LA INSTALACIÓN.**

A continuación, y a modo de resumen, se adjunta tabla con los parámetros característicos para cada una de las dos alternativas de diseño.

	Nº Módulos	Nº Inversores	Irradiancia global neta anual	Energía anual Generada teórica (KWh)	Energía anual Generada real (KWh)
Placas solares fotovoltaicas sobre invernadero	440	9	1962,1	108052,79	97247,51

**RESUMEN DE LA INSTALACIÓN. ENERGÍA ANUAL GENERADA.**

## **4.5. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN.**

Para garantizar una alta productividad de la instalación, es esencial reducir los periodos de parada por avería o mal funcionamiento. Para ello son necesarias tanto la supervisión del usuario del sistema, como la asistencia de un servicio técnico.

En cualquier caso, las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red ofrecen muy pocos requerimientos de mantenimiento preventivo y, en general, son poco susceptibles a sucesos que provoquen la intervención de un mantenimiento correctivo. Sin embargo, es recomendable seguir el programa de mantenimiento detallado a continuación.

### **4.5.1. MANTENIMIENTO A CARGO DEL USUARIO.**

El usuario de la instalación debería llevar a cabo las siguientes tareas de mantenimiento:

- *Supervisión general*

Corresponde a la simple observación de los equipos; esto consiste en comprobar periódicamente que todo esté funcionando. Para ello basta observar los indicadores de los inversores, con esa información se comprueba que el inversor recibe energía del campo solar y genera corriente alterna. La verificación periódica de las cifras de electricidad generada nos permitirá detectar bajadas imprevistas de producción, que serían síntoma de un mal funcionamiento. La producción solar final queda registrada en el contador de venta de electricidad que mensualmente hay que anotar para la emisión de la correspondiente factura. El balance mensual, aunque varía a lo largo del año, se mantiene en torno a un máximo y un mínimo que se debe conocer, por lo que se podrá detectar rápidamente una bajada no habitual de producción, lo cual indicaría, probablemente, una avería (o una perturbación periódica de la red).

- *Limpieza*

La limpieza incluye la eliminación de hierbas, ramas u objetos que proyecten sombras sobre las placas.

- *Verificación visual del campo fotovoltaico.*

Con el objetivo de comprobar eventuales problemas de las fijaciones de la estructura sobre el edificio, aflojamiento de tornillos en la misma, o entre ésta y las placas, aparición de zonas de oxidación, etc.

### **4.5.2. MANTENIMIENTO A CARGO DEL SERVICIO TÉCNICO.**

El servicio técnico debería ser avisado por el usuario de la instalación cuando se detecte la bajada o para total de la producción eléctrica, así como la aparición de defectos en la estructura de fijación del campo solar. En estos casos se realizará un mantenimiento correctivo, que detecte el origen de la avería y la repare. Es igualmente importante efectuar un mantenimiento preventivo, mediante revisiones periódicas, en las que, como mínimo, se debería incluir:

- Comprobación de tensión e intensidad para cada serie de placas fotovoltaicas (todas las series deberían dar valores idénticos o muy similares). Se pueden detectar fallos en las placas, como diodos fundidos o problemas de cableado y conexiones.
- Verificación de la solidez de la estructura del campo solar, reapriete de tornillos, estado de la protección de los soportes metálicos y anclajes, etc.
- Caracterización de la onda, frecuencia y tensión de salida en corriente alterna del inversor.
- Comprobación de las protecciones, fusibles y diferenciales.
- Verificación de las conexiones del cableado en la caja de conexiones.

Este mantenimiento preventivo a cargo del servicio técnico suele equivaler al 10% de los beneficios obtenidos por las placas solares.

## **5. PLANOS**

A continuación se adjuntan los planos de las siguientes estructuras:

- 5.1.- Cimentación.
- 5.2.- Cimentación módulos de invernadero.
- 5.3.- Cimentación soporte placas solares.
- 5.4.- Módulos de invernadero.
- 5.5.- Soporte placas solares.
- 5.6.- Invernadero multitúnel.

















## 6. PRESUPUESTOS.

### 6.1. PRESUPUESTO INVERNADERO.

*PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TECNICAS PARA LA INSTALACION DE UN INVERNADERO MULTIMODULAR EN LA FINCA "LOS LLANOS" EN EL EJIDO (ALMERÍA)*

#### 1.- Objeto

El presente pliego tiene por objeto determinar las características que debe reunir el invernadero multimodular para el desarrollo de la actividad del cultivo en su interior.

#### 2.- Características técnicas

El invernadero estará compuesto por 11 naves de 8 m de anchura cada una de ellas y con una longitud de 100 m, arrojando una superficie total a cubrir de 8800 m<sup>2</sup>.

Las naves, con 3 m de altura a la canal no estarán separadas entre sí para propiciar una mejor actividad por la ausencia de obstáculos. Estarán cubiertas con plástico flexible de polietileno normal de larga duración, del mismo modo se instalará el mismo componente en el entorno perimetral, lateral y frontales.

El material de la estructura estará constituido por pilares centrales, con 5 m de separación, y laterales, con 5 m de separación, serán de tubo rectangular de 120x100x4 mm y de 120x60x4 mm, respectivamente; sobre el conjunto se fijarán los arcos de las capillas, con 5 m de separación. La estabilidad de la estructura se facilitará con la colocación de tirantes, cada 5 m, que serán de tubo redondo de 80x2. La unión de la estructura se completará con la instalación de correas metálicas, constituidas por perfiles de 80x2mm en una sola pieza; se situarán 3 líneas de correas laterales, 4 de frontales y 6 de cenitales; con ellas se asegurará la fijación del film utilizado como material de cubierta.

Entre las naves centrales y laterales sobre los pilares, discurrirá un canalón de material galvanizado para evacuar las aguas procedentes de lluvia, así como para potenciar la resistencia de la estructura: sus características serán de un desarrollo de 410 mm y 2 mm de espesor, reforzados con escuadras cada 2'5 m.

Los huecos de evacuación y de ventilación, serán 4 puertas de 3'25x3'10, de perfil de 4'3 que se deslizarán lateralmente sobre un perfil 4'3.

La ventilación será realizada con ventanas cenitales que se abrirán hasta la canal, los brazos estarán dotados de perfil cuadrado de 50 x 30 x 1'5 mm, adecuado para realizar el montaje en la bisagra y la cremallera; las cremalleras en U serán de 30x20x30 mm y estarán montadas sobre caja compacta con piñones de acero y rodillos de nylon remachados. La reparación entre brazos de la ventana se mantendrá en 2'5 m, colocando una cremallera por cada uno de ellos para fortalecer a esta; la barra de transmisión será de 1" con uniones con doble tornillo y estará dotada de soportes de rodamientos y rodillo de nylon para evitar los rozamientos, siendo colocada cada 2,5 m.

Todos los basamentos tendrán un cerramiento de obra que confiera estabilidad, higiene e independencia de los módulos descritos.

### 3.- Precio de licitación

El presupuesto máximo (I.V.A. incluido) para la instalación del invernadero asciende a la cantidad de CIENTOCINCUENTA Y DOS MIL EUROS (152.000,00 Euros).

En el precio ofertado por lo licitadores incluirá cualquier gasto que se produzca en relación a la entrega y montaje en la finca “Los Llanos” ubicada en el término municipal de El Ejido (Almería), hasta su total puesta en funcionamiento.

### 4.- Garantía y plazo de ejecución

El periodo de garantía mínima de los componentes del invernadero será de un año, a partir de la fecha de recepción de la instalación.

Durante el periodo de garantía será por cuenta del adjudicatario, tanto el suministro y reposición de los elementos en mal funcionamiento, como los gastos del personal necesario para realizar la operación.

El plazo de ejecución de la instalación se establece en un mes a contar desde la fecha de formalización del contrato.

### *DESGLOSE DEL PRESUPUESTO PARA LA INSTALACION DE UN INVERNADERO MULTIMODULAR EN LA FINCA EXPERIMENTAL ‘TORREBLANCA’ DEL CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO AGROALIMENTARIO (CIDA)*

Conceptos que integran el presupuesto del invernadero:

<b>Estructura invernadero.</b> _____	<b>34.823,00 €</b>
<b>Cimentación.</b> _____	<b>65.830,00 €</b>
<b>Laterales y frontales placas.</b> _____	<b>9.400,00 €</b>
<b>Montaje.</b> _____	<b>15.500,00 €</b>
<b>Montaje puertas traseras.</b> _____	<b>2.127,00 €</b>
<b>Total conceptos.</b> _____	<b>127.680,00 €</b>
<b>I.V.A. 16 %</b> _____	<b>24.320,00 €</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b> _____	<b>152.000,00 €</b>

## 6.2. PRESUPUESTO INSTALACIÓN SOLAR.

Cap.1	Paneles:	100.034,00 €
Cap.2	Estructura soporte y elementos mecánicos:	19.132,00 €
Cap.3	Inversor + protecciones + contadores:	21.880,00 €
Cap.4	Cableado y varios:	7.931,52 €
Cap.5	Montaje y puesta en marcha:	11.737,60 €
Cap.6	Ingeniería del Proyecto:	8.000,00 €

---

**Presupuesto Ejecución: 168.715,12 €**

16 % IVA 26.994,41 €

---

**Presupuesto de Ejecución impuestos incluidos: 195.709,53 €**

## 7. ANÁLISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN.

### 7.1. IMPACTO ECONÓMICO.

#### 7.1.1. TARIFA DE VENTA DE LA ENERGÍA GENERADA.

La normativa legal obliga a las compañías eléctricas a firmar un contrato con el productor para comprar la energía generada durante los próximos 25 años al 300% aprox. de la Tarifa Media Regulada (TMR).

De conformidad con el Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica:

#### [B.O.E. 27 septiembre 2008](#)

- Contempla dos tipologías diferenciadas, suelo y techo (instaladas en edificios), y orienta la inversión privada hacia la tipología en techo por sus mayores beneficios económicos (en cuanto a reducción de pérdidas en la red, reducción de inversiones en infraestructuras) y medioambientales (mejor utilización del suelo y preservación de zonas con un potencial mayor valor natural).
- La nueva retribución es de 32 cent/KWh para suelo y 32 y 34 cent/KWh para techo (mayores y menores de 20 kW, respectivamente). Estas retribuciones bajarán trimestralmente en función del agotamiento de los cupos.
- Las instalaciones no podrán tener un tamaño superior a 10 MW en suelo y 2 MW en edificios.

Para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del [Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo](#), para dicha tecnología.

TIPOS	MW Cupo	Asignación Instalaciones		Primas FV €/kWh.	
		≤ 20 kW.	> 20 kW.	≤ 20 kW.	> 20 kW.
I. Cubiertas, fachadas, aparcamientos, sombreamiento.	267	10%	90 %	0,34	0,32
II. Otros tipos de soporte.	133	100 %		0,32	
Σ=	400	Media =		0,3213350	

TABLA DE PRECIOS €/kWh.

**TABLA RESUMEN DE INGRESOS POR LA VENTA DE ELECTRICIDAD**

	Radiación (KWh/m <sup>2</sup> )	Energía teórica (KWh)	Energía real (KWh)	Ingresos venta €
Enero	76,9	4234,88	3811,39	1219,64
Febrero	99	5451,93	4906,73	1570,15
Marzo	139,3	7671,25	6904,12	2209,31
Abril	179,7	9896,07	8906,46	2850,06
Mayo	218,2	12016,27	10814,64	3460,68
Junio	237,4	13073,61	11766,24	3765,19
Julio	246,4	13569,24	12212,31	3907,93
Agosto	237,2	13062,60	11756,34	3762,02
Septiembre	193,8	10672,56	9605,3	3073,69
Octubre	159,2	8767,14	7890,42	2524,93
Noviembre	100,2	5518,01	4966,2	1589,18
Diciembre	74,8	4119,23	3707,3	1186,33
TOTAL	1.962,1	108.052,79	97.247,51	31.119,11

### 7.1.2. BALANCE ECONÓMICO Y PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN.

Los elementos que intervienen en el cálculo de la rentabilidad son los que siguen a continuación:

- *Inversión*: totalidad del coste de la instalación, incluido el proyecto y los trámites administrativos.
- *Subvenciones a la inversión*: cantidad total recibida en forma de ayudas o subvenciones a fondo perdido. En este caso se considerarán nula a efecto de estudiar el periodo de recuperación de la inversión más desfavorable.
- *Prima*: Cantidad cobrada anualmente en concepto de venta primada de la energía eléctrica de origen solar.
- *Generación eléctrica*: El total de la electricidad generada por la instalación solar, en función de la potencia de la instalación.
- *Costes de explotación*: conjunto de gastos que supone la gestión y explotación de la cubierta fotovoltaica. En este concepto se contemplan los siguientes gastos:
  1. Emisión de facturas.
  2. Elaboración de las liquidaciones de IVA.
  3. Póliza del seguro de responsabilidad civil sobre el valor de la instalación.
  4. Mantenimiento preventivo y correctivo.

En la tabla siguiente se adjunta la previsión de ingresos y gastos para la instalación solar en cuestión:

<b>Coste de la instalación. (IVA no incluido)</b>	168.715,12 €
<b>Producción anual</b>	97.247,51 kWh
<b>Facturación anual</b>	31.119,11 €
<b>Gastos anuales</b>	3.185,00 €
<b>Factura neta anual</b>	27.934,11 €

#### *PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN.*

A continuación se calcula el periodo de retorno de la inversión de la instalación solar fotovoltaica propuesta, siguiendo la fórmula siguiente:

Periodo de retorno de la inversión (años):

$$T = \frac{I}{E - M}$$

Siendo:

T = tiempo de recuperación de la inversión (años)

I = inversión total del proyecto.

E = Beneficio anual conseguido mediante la venta de la energía producido.

M = costes anuales de mantenimiento y explotación de la instalación (costes financieros y de amortización no incluidos).

De este modo obtenemos que **T = 6 AÑOS.**

## **7.2. IMPACTO AMBIENTAL.**

Además del punto de vista económico, las instalaciones solares fotovoltaicas se están implantando sobre todo por consideraciones ecológicas. El balance desde este punto de vista es totalmente favorable, tanto en reducción de emisiones contaminantes, como en el balance energético.

Todos los kWh generados con un sistema fotovoltaico equivalen a un ahorro de energía generada con otras fuentes de energía, con toda probabilidad con mayor o menor grado de poder contaminante, lo que conlleva, por lo tanto, a una reducción de emisiones.

Una de las fuentes de contaminación más importantes son los gases de efecto invernadero, ya que inciden gravemente en el cambio climático de la Tierra. El gas más significativo entre éstos en el CO<sub>2</sub>, generado en toda combustión de materiales carbonados.

Para calcular el ahorro de CO<sub>2</sub> obtenido gracias a la generación eléctrica “limpia” de un sistema fotovoltaico, podemos utilizar la emisión media por unidad de electricidad generada en España que para el 2004 se cifra en 0,464 kg de CO<sub>2</sub> por kWh eléctrico generado. Asimismo, existen otras emisiones nocivas como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) o de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) sobre las que podemos asumir las siguientes equivalencias:

- 16,52 t SO<sub>2</sub> / GWh.
- 5,83 t NO<sub>x</sub> / GWh.

En conclusión, para la cubierta solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica objeto del presente proyecto, el ahorro total de emisiones contaminantes es el que se resume en la tabla siguiente.

Producción anual: 97.247 kWh	
Ahorro de emisiones	
CO <sub>2</sub>	45.122 kg.
SO <sub>2</sub>	1.606 kg.
NO <sub>x</sub>	567 kg.

#### **BENEFICIOS AMBIENTALES DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA**

En cuanto a los impactos ambientales ocasionados por la implantación de un sistema solar fotovoltaico, se considera que el impacto principal se produce en las operaciones extractivas de las materias primas, ya que aunque la mayoría de las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, material obtenido a partir de la arena y por tanto muy abundante en la naturaleza, es necesario transformarlo con consumo de energía hasta conseguir silicio de grado solar.

En la fase de uso las cargas ambientales son despreciables, y en la fase de eliminación, después de la vida útil, pueden establecerse vías claras de reutilización o retirada. El efecto Visual sobre el paisaje es el principal impacto en la fase de uso, siendo susceptible de ser reducido gracias a la integración arquitectónica, como es el caso del presente proyecto.

En el medio físico y biótico no existen afecciones importantes ni sobre la calidad del aire ni sobre los suelos, flora y fauna, no provocándose ruidos ni afectándose tampoco a la hidrología existente.

### **7.3. IMPACTO SOCIAL.**

La energía solar fotovoltaica ofrece la oportunidad, a un coste razonable, de emplear una energía renovable en el ámbito urbano generando una electricidad respetuosa con el medio ambiente. Un sistema fotovoltaico por lo tanto, ayuda a sensibilizar hacia el ahorro energético, además de constituir un elemento diferenciador en los proyectos arquitectónicos y urbanísticos. Es decir, con la instalación de un sistema fotovoltaico integrado en una explotación agraria no solo logramos dar una novedosa y mejor imagen al invernadero, sino que también conseguimos mejorar el estatus social del mismo y crear un modelo donde crear tendencia para otros proyectos parecidos.

## 8. NORMATIVA APLICABLE Y SUBVENCIONES

### 8.1. NORMATIVA APLICABLE.

#### *NORMATIVA SOLAR APLICABLE EN ANDALUCIA*

Decreto 50/2008, de 19 de febrero, por el que se regulan los procedimientos administrativos referidos a las instalaciones de energía solar fotovoltaica emplazadas en la Comunidad Autónoma de Andalucía. (BOJA 44).

Orden de 26/03/2007, por las que se aprueban las especificaciones técnicas de las instalaciones fotovoltaicas andaluzas. (BOJA 80).

Resolución 23/02/2005, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas. Establece normas complementarias para la conexión en BT de instalaciones, y agrupaciones de las mismas, de tecnología solar fotovoltaica de potencia no superior a 100 kW. (BOJA 57).

Instrucción de 21/01/2004, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas sobre procedimiento de puesta en servicio de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red. (BOJA 26).

Resolución de 1/12/2003, de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, por la que se aprueba el modelo de memoria técnica de diseño de instalaciones eléctricas en baja tensión. (BOJA 8).

- *Real Decreto 1663/2000*, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.

- *UNE EN 61215:1997* “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación tipo”.

- *Ley 54/1997*, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.

- *Real Decreto 436/2004*, de 12 de marzo, 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.

- *Real Decreto 1955/2000*, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

- *Resolución de 31 de mayo de 2001* por la que se establecen modelo de contrato tipo y modelo de factura para las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red de baja tensión.

- *Real Decreto 841/2002* de 2 de agosto por el que se regula para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial su incentivación en la participación en el mercado de producción, determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción, y la adquisición por los comercializadores de su energía eléctrica producida.

- *Real Decreto 842/2002* de 2 de agosto por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

- *Real Decreto 1433/2002* de 27 de diciembre, por el que se establecen los requisitos de medida en baja tensión de consumidores y centrales de producción en Régimen Especial.

### **OTRAS NORMATIVAS.**

Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Resolución de 27 de septiembre de 2007, de la Secretaría General de Energía, por la que se establece el plazo de mantenimiento de la tarifa regulada para la tecnología fotovoltaica

Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica

Real Decreto Ley 6/2009 de 30 de abril

Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética (PASENER) 2007-2013

Código Técnico de la Edificación

Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia 2007-2012-2020

Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012

Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011

Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010

## **8.2. SUBVENCIONES.**

Para la consecución de los objetivos anteriormente descritos en cuanto a potencia y plazo de tiempo, la Administración pone en marcha una serie de medidas que favorecen la inversión en instalaciones de energías renovables como son subvenciones, deducciones fiscales, etc...

Administraciones regionales, nacionales y comunitarias están continuamente poniendo en marcha programas de ayudas y subvenciones que financian inversiones en proyectos sobre Energías Renovables. A ellas pueden acudir tanto particulares, como comunidades de vecinos, empresas, organizaciones, etc...

Existen tres tipos de subvenciones que pueden ser o no compatibles entre ellas:

- Ayudas y subvenciones de las Comunidades Autonomas.

- Ayudas de la Administración Central (Línea de financiación ICO-IDAE)
- Deducciones fiscales sobre la inversión en en el Impuesto de Sociedades o en el IRPF.

### SUBVENCIONES ENERGÍA SOLAR ESPAÑA

A continuación se muestran las condiciones de las ayudas públicas que ofrecen tanto el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), como las 17 Comunidades Autónomas.

Tal y cómo se explica en *Deje que el sol le ayude*, publicado en OCU-Co, estas subvenciones pueden significar una reducción de hasta un 40% sobre el coste total del sistema.

### SUBVENCIONES ENERGÍA SOLAR ANDALUCÍA



### SODEAN (Sociedad para el Desarrollo Energético de Andalucía). Programa Prosol

Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico (Orden 24 de Enero 2003, BOJA Núm 33, 18 Febrero 2003).

La ayuda asciende al 40% bruto del coste de inversión subvencionable, de acuerdo a los precios de referencia en el siguiente tipo de instalaciones, además de créditos a bajo interés.

Observaciones: no son compatibles con otras ayudas públicas, salvo que existan acuerdos especiales entre la Consejería de Empleo y Desarrollo Tecnológico y los correspondientes organismos oficiales.

- **Energía solar térmica**
  - Límite de inversión: 500 €/m<sup>2</sup>
- **Energía solar fotovoltaica**
  - Instalaciones fotovoltaicas aisladas a más de 500 m de la red. La potencia máxima para una vivienda será de 15 kWp y la mínima de 300 Wp. El límite de la inversión subvencionable es de 12 €/Wp.

- Instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, la potencia debe estar comprendida entre 500 Wp y 15 kWp (Límite de la inversión 9 €/Wp).

## **9. CONCLUSIONES.**

Durante el desarrollo de este proyecto se han tenido en cuenta las diversas opciones de diseño de la estructura de un invernadero, llegando a la conclusión que la más adecuada en cuanto a climatología, propiedades, dimensiones... era el tipo multitúnel.

Este tipo de invernadero, muy extendido por toda la provincia de Almería tiene propiedades que son fundamentales para el cultivo hortofrutícola en estas tierras (estructuras con pocos obstáculos, buena ventilación, buena estanqueidad a la lluvia y al aire, buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero, fácil instalación).

La orientación del invernadero es fundamental en la transmisividad (fracción de radiación global exterior que penetra en el invernadero), factor muy importante desde el punto de vista productivo afectando a los cultivos principalmente en cuanto a la eficiencia de uso de la radiación, a sus efectos fotomorfogénicos, sobre los insectos y microorganismos del invernadero. Deberá estar orientado al Sur, ya que si bien la dirección de los rayos solares es distinta en las diferentes estaciones del año (lo que provoca sombras en diferentes lugares del invernadero), el factor predominante de esta orientación son los vientos, ya que las bandas quedan hacia levante y poniente que son los vientos predominantes donde se realizan este tipo de invernaderos.

Sobre la cimentación (el elemento mediante el cual se transmiten las cargas que actúan sobre el invernadero al terreno) será importante destacar que entre estas cargas destacarían el viento, el peso propio de la instalación. La cimentación se calculará, junto con la estructura tanto del invernadero, como del soporte de las placas solares, a través de un programa informático, CYPE para ingenieros. En esta cimentación tendrá poca representatividad la carga que proporcionará el material de cubierta escogido para este invernadero. El polietileno será el plástico con el que cubriremos la cubierta.

Uno de los objetivos más importantes de este proyecto es diseñar una instalación solar fotovoltaica para la producción de energía eléctrica limpia i de esta manera poder contribuir a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, los cuales se producen cuando dicha energía eléctrica es fruto de la combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas convencionales o en centrales de ciclo combinado. Como ya es sobradamente conocido, el CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera contribuye al efecto invernadero y al cambio climático, convirtiéndose en un problema global del planeta.

Se han aprovechado los márgenes Norte y Sur del invernadero para instalar los paneles solares fotovoltaicos y así, crear una instalación que se aleja de esas huertas solares donde el suelo es utilizado sin importar las hectáreas ocupadas. Con este proyecto se describe una instalación que podría ser aplicable (con algunas modificaciones) a una parte importante de las explotaciones rurales que actualmente existen en el Sur de España y de ese modo crear un modelo de generación de energía eléctrica fotovoltaica saludable para nuestra atmósfera y un nuevo modelo productivo para la agricultura nacional.

La instalación solar fotovoltaica proyectada es capaz de producir al año 97247 kWh de energía eléctrica en condiciones óptimas, lo que proporciona unos ingresos aproximados de 30.000 € anuales con un precio de venta a la compañía eléctrica de 0'32 €/kWh (según el precio fijado en el BOE) por el tipo de instalación fotovoltaica.

El presupuesto de la instalación solar fotovoltaica, teniendo en cuenta los componentes, materiales, honorarios de proyecto y el IVA asciende a 195.709 €. Cantidad que mediante un

estudio económico de la inversión se concluye que el período de retorno de la inversión es de 6 años.

Personalmente, este proyecto me ha ofrecido la oportunidad de entrar en profundidad en el mundo de la energía solar fotovoltaica, contactar con diferentes distribuidores de productos solares, conocer la normativa española relacionada con la venta energía eléctrica, calcular los requisitos que deben de poseer los diferentes componentes de la instalación y en definitiva proyectar una instalación fotovoltaica perfectamente instalable en cualquier finca. También he aumentado conocimientos en relación a la cimentación de estructuras, básica para la construcción de toda edificación que se quiera llevar a cabo con todas las garantías de seguridad.

Finalmente, se puede afirmar que se han alcanzado tanto los objetivos generales, como los objetivos particulares de este proyecto.

## 10. BIBLIOGRAFÍA.

### 10.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] **ASIF**(Asociación de la Industria Fotovoltaica). *Informe ASIF:“ Hacia una electricidad respetuosa con el medio ambiente”*. Octubre 2005.

[12] **RITE** (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios). ITE-02. Diseño.

**IDAE**. *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010*. Agosto 2005.

**5] ICAEN**. *Pliego de Condiciones Técnicas para instalaciones fotovoltaicas conectadas a red*.

Octubre 2002.

□ **A. MITJÀ**. *Curs de formació Energia Solar Fotovoltaica*. Institut Català d'Energia. Marzo 2002.

[13] RD 436 de 12 de Marzo de 2.004, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de generación de energía eléctrica en régimen especial.

[14] RD 1556-2005 de 23 de diciembre sobre tarifa eléctrica para 2006.

TOMÁS PERALES BENITO, *Cómo... montar tu propia instalación de energía solar para obtener electricidad*. Ed. Creaciones copyright 2009.

Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica. Ed. Ciemat.

#### Páginas web:

- [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com)
- [www.portalsolar.com](http://www.portalsolar.com)
- [www.infoagro.com](http://www.infoagro.com)
- [www.laspalmerillas.cajamar.es](http://www.laspalmerillas.cajamar.es)
- [www.agrarias.tripod.com](http://www.agrarias.tripod.com)
- [www.fertri.com/productos/umbraculocaractersticas/](http://www.fertri.com/productos/umbraculocaractersticas/)
- [www.sevillainvernaderos.com/invernaderomalla.aspx](http://www.sevillainvernaderos.com/invernaderomalla.aspx)
- [www.constructoradeinvernaderos.com.mx/inverna...](http://www.constructoradeinvernaderos.com.mx/inverna...)
- <http://www.atersa.com>
- <http://www.solarmax.com>
- [www.idae.es](http://www.idae.es)

