

4. Memoria de Proyecto.

En el siguiente apartado se detallará en qué consiste el proyecto a realizar, detallando del emplazamiento y descripción de la instalación, los cálculos necesarios y decisiones tomadas en base a dichos cálculos.

4.1 Emplazamiento de la instalación

La ubicación de la instalación solar fotovoltaica a proyectar será al oeste de la provincia de Avila, en el término municipal de Gimialcón, entre la Nacional 501 y la Autovía Avila-Salamanca, cerca del punto kilométrico 48 de la N 501 en la zona de "Las Badanas"



Figura Situación del sistema fotovoltaico en "Las badanas". Fuente: FEAGA SIGPAC.

La instalación se realizará sobre la azotea plana de una nave a construir.

El terreno donde se encuentra localizada la nave está situado a unos 950 m sobre el nivel del mar y sus coordenadas son las indicadas en la figura:



Figura Situación de la nave donde irá el sistema fotovoltaico. Fuente: FEAGA SIGPAC.

Las dimensiones de la nave industrial son; 70mx50m lo que proporciona una superficie total de 3.500m². Se considera que la nave va a estar totalmente orientada al sur para optimizar su función de generación fotovoltaica.

4.2 Descripción general de la instalación.

La instalación solar fotovoltaica proyectada aquí, se ubicará sobre la azotea de la nave industrial citada en el apartado anterior. El generador fotovoltaico estará formado por **504** paneles marca ATERSA modelo **A-250P GSE**, en total la potencia máxima del generador fotovoltaico será de **126 kW**.

Los módulos fotovoltaicos se situarán sobre soportes metálicos fijos pero se les proporcionará la capacidad de regular su inclinación manualmente por los operarios encargados del mantenimiento de la instalación entre dos posiciones diferentes dependiendo la época del año en la que esté funcionando el generador.

La instalación eléctrica del proyecto se ha dividido en cuatro circuitos diferentes de conductores de sección distinta desde los paneles solares hasta el punto de conexión a la red de baja tensión.

Los paneles se dispondrán en **36** ramales conectados en paralelo formados por **14** paneles conectados en serie cada uno. Estos **36** ramales se separarán en grupos de **6** a la hora de definir el esquema eléctrico de protecciones y cableado uniéndose cada ramal de cada grupo del generador en "cajas de conexión de grupo" y a su vez los conductores que salgan de cada caja de conexión de grupo llegarán a una "caja de conexión de generador fotovoltaico" donde llegarán las conexiones de todos los paneles solares y saldrán los conductores hacia el inversor.

El inversor encargado de la conversión de la corriente continua generada por el generador fotovoltaico a corriente alterna que se inyectará posteriormente a la red se situará en una caseta prefabricada en la parte inferior de la nave junto a la fachada norte de la misma, se ha buscado el inversor más eficiente cumplierse con la reglamentación y los rangos de operación necesarios para el correcto funcionamiento de los paneles solares, como el rango de tensiones de entrada al inversor, la tensión máxima de entrada, la corriente máxima, etc. eligiendo el inversor ATERSA SIEL-SOLEIL cuya potencia de salida es de 100 kW.

Para la protección tanto de los equipos de la instalación como de las personas responsables de su mantenimiento y operación, se ha seguido la reglamentación vigente que aparece en el artículo 11 del R.D.1663/2000 con la colocación de un interruptor diferencial y un interruptor general manual en la conexión a la red de baja tensión, los requisitos de conexión de la empresa distribuidora de la zona con la colocación de un fusible y además las normas generales para la protección de instalaciones eléctricas que aparecen en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión con la colocación de fusibles, interruptores-seccionadores, descargadores en los diferentes tramos de la instalación solar.

Por último, se solicitará la autorización de conexión para la conexión de la planta solar fotovoltaica a la red de baja tensión e inyectar la potencia generada por la misma a dicha red.

4.3 Elección de los paneles fotovoltaicos.

Para la elección de los paneles solares que a utilizar, se tendrán en cuenta varias consideraciones:

Terreno a ocupar: debe estudiarse la cantidad de terreno de la que se dispone a la hora de dimensionar el campo de paneles solares, en este caso, la situación del campo de paneles será sobre la azotea de un edificio, por lo que existirán limitaciones de espacio más obvias.

Como apuntó anteriormente, la nave en cuestión posee un área de planta de unos **3.500 m²**. Ahora bien, teniendo en cuenta que uno de los objetivos a la hora de diseñar este tipo de instalaciones es la optimización de los recursos y la nave aún no está construida se diseñará con la fachada larga hacia el sur. Este dato es importante ya que a la hora de orientar los paneles solares, al existir cierta libertad para orientarlos puesto que no aparecen obstáculos de algún tipo que debieran considerarse para evitar posibles sombras en los paneles, se orientarán al sur puesto que para esta orientación, la captación de radiación solar es máxima a lo largo del día.

Este es el caso del proyecto, se trata de una azotea libre de obstáculos que puedan provocar sombras sobre los paneles, por lo que podrá utilizarse todo el espacio del que se

dispone de forma que la orientación de los paneles sea óptima, por lo tanto si se escoge un área de la azotea cuyo lado esté totalmente orientado al sur.

A este efecto se ha escogido un área útil en forma de rectángulo de **60 m** de largo y **40 m** de ancho, donde la superficie libre de obstáculos de **2400 m²**.

Tecnología a utilizar: Existen varios tipos de paneles solares fotovoltaicos dependiendo al tipo de célula solar del que están compuestos: silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo. Para el diseño del proyecto se utilizarán paneles de tipo monocristalino que aunque son paneles caros, su rendimiento es el más alto del mercado llegando hasta casi el 20%.

Presupuesto: La última y más importante de todas, a la hora del diseño de este tipo de instalaciones encargadas por un cliente, se tendrá en cuenta la cantidad que el cliente está dispuesto a invertir sobre la instalación fotovoltaica ya que aunque se realice un diseño de gran envergadura y calidad, si el sobrepasa el presupuesto dado por la persona quién nos la encarga, será imposible la realización del proyecto.

Con estas consideraciones se ha elegido el panel solar fotovoltaico **A-250P GSE** de ATERSA, empresa española con amplia experiencia en fabricación de todo tipo de dispositivos para instalaciones solares fotovoltaicas.

La siguiente tabla muestra los parámetros fundamentales del panel solar escogido, esto será importante a la hora de dimensionar el cableado y protecciones e importante para la elección del inversor:

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	A-250P GSE
Potencia (W en prueba -2+5 %)	250
Eficiencia	15,34
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	8,18
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	30,58
Corriente de Cortocircuito (Isc)	8,71
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	37,61
Coeficiente de Temperatura de Isc (α)	0,07
Coeficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,3
Coeficiente de Temperatura de P (γ)	-0,38
Máxima Tensión del Sistema	1000
Máxima corriente Inversa	15
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Dimensiones (mm)	1638 x 995 x 35
Peso (aprox)	18,7

Tabla: Parámetros fundamentales del módulo fotovoltaico.

4.4 Orientación de los paneles.

A la hora de diseñar este tipo de instalaciones solares, es muy importante decidir la orientación de los paneles ya que interesará que los paneles capturen la mayor cantidad de radiación solar posible. Esta orientación puede ser impuesta por el emplazamiento donde vamos a instalar los paneles, como es el caso de tejados con una cierta orientación, o libre si la ubicación lo permite, como extensiones de terreno llanas.

Según el IDAE, la orientación se define por el ángulo llamado azimut α , que es el ángulo que forma la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Los valores típicos son 0° para los módulos al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste.

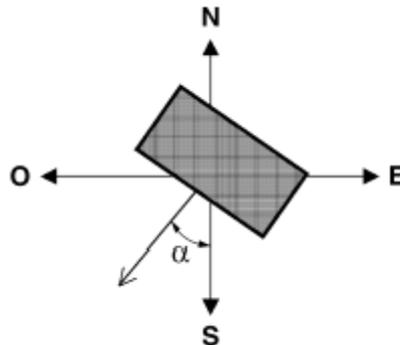


Figura Representación del ángulo azimut.

Para hallar la orientación óptima de los paneles solares debe considerarse la ubicación de los mismos, en este caso, los paneles captarán la mayor cantidad de radiación solar si se orientan al sur geográfico, donde $\alpha=0^\circ$.

4.5 Inclinación de los paneles.

Otro punto importante para el diseño de estas instalaciones fotovoltaicas, es la inclinación que deben tener los módulos para la captación de la mayor cantidad de radiación solar.

Según el Pliego de Condiciones del IDAE, la inclinación de los módulos solares se define mediante el ángulo de inclinación β , que es el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para módulos verticales.

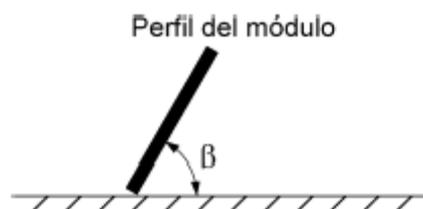


Figura Inclinación de los módulos.

El cálculo de la inclinación óptima de los paneles solares, se obtendrá mediante el método de "mes peor", en el cual, se considera el mes de menor radiación captada sobre los paneles. Para utilizar este método ha de tenerse en cuenta dos variables; el periodo para el cuál se utilizará la instalación solar fotovoltaica, debe definirse si se explotará en verano, en invierno o durante todo el año y la latitud del emplazamiento donde estarán instalados los paneles solares.

Latitud (Φ): $40^\circ 52' 50.40''$ N $\Phi = 40,869^\circ$

Según el método de "mes peor", la inclinación óptima aproximada de los paneles respecto a la horizontal, viene expresada en la siguiente tabla:

Periodo de diseño	β_{opt}
Diciembre	$\Phi+10^\circ$
Julio	$\Phi-20^\circ$
Anual	$\Phi-10^\circ$

Tabla: Inclinación de los paneles según la latitud.

Utilizando este método para obtener la inclinación óptima de los paneles solares en la instalación según el periodo de diseño sería:

Periodo de diseño	β_{opt}
invierno	$\Phi+10^\circ = 40,869^\circ +10 = 50,869^\circ$
Verano	$\Phi-20^\circ = 40,869^\circ -20 = 20,869^\circ$
Anual	$\Phi-10^\circ = 40,869^\circ -10 = 30,869^\circ$

Tabla Inclinación de los paneles según el periodo de diseño.

Con estas inclinaciones, se obtienen las menores pérdidas por inclinación de los módulos fotovoltaicos.

<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>

SSE
Homepage
Find A Different Location
Accuracy
Methodology
Parameters
(Units & Definition)



NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables

Latitude **40.877** / Longitude **-5.123** was chosen.



Geometry Information

Northern boundary
41

Western boundary Center Eastern boundary
-6 Latitude 40.5 -5
 Longitude -5.5

Southern boundary
40

Elevation: 718 meters
taken from the
NASA GEOS-4
model elevation

Parameters for Solar Cooking:

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m²/day)

Lat 40.877 Lon -5.123	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	2.06	3.00	4.30	5.21	6.18	7.37	7.54	6.61	4.98	3.14	2.18	1.72

[Parameter Definition](#)

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvGIS/apps4/pvest.php?lang=es&map=europe>

JRC **CM SAF** Sistema de Información geográfica fotovoltaica - mapa interactivo 🇬🇧 🇪🇸 🇮🇹 🇫🇷 🇩🇪

EUROPA > CE > CCI > IET > RE > SOLAREC > PVGIS > Mapa interactivo > Europa Contacto **Aviso jurídico importante**

Por ejemplo, "Ispra, Italy" "45.256N, 16.9589E"

posición del cursor: 40.866, -4.962
 posición elegida: 40.877, -5.123

Latitud: Longitud:

Radiación solar

Estimación FV

Rendimiento del sistema FV conectado a red

Base de datos de radiación: Climate-SAF PVGIS

Tecnología FV:

Potencia FV pico instalada kWp

Pérdidas estimadas del sistema [0;100] %

Opciones de montaje fijo:

Posición de montaje:

Inclin. [0;90] grados Optimizar la inclinación

Acimut [-180;180] grados Optimizar también el acimut
(Ángulo de acimut de -180 a 180. Este=-90, sur=0)

Opciones del sistema de seguimiento:

Eje vertical Inclin. [0;90] grados Optimizar

Eje inclinado Inclin. [0;90] grados Optimizar

Seguidor solar a dos ejes

Fichero del horizonte: Ningún archivo seleccionado

Formatos de salida

Mostrar gráficas Mostrar el horizonte

Página web Fichero de texto PDF

[\[ayuda\]](#)

<http://www.sisifo.info/>



PV CROPS WP3
Open Source
Solar Simulation

Site **Meteo Data** PV Modules PV Generators Balance of System Sim Options Sim Time Eco

Data type:

Sky model:

Month	Mean daily irradiation (Wh/m ²)	Maximum daily temperature (°C)	Minimum daily temperature (°C)
January	1940	7.9	1
February	3020	9.3	0.6
March	4440	12.5	2.7
April	5280	14.4	4.3
May	6280	18.8	8.2
June	7430	25	12.7
July	7820	27.7	14.6
August	6820	27.8	14.5
September	5160	23.5	11.7
October	3620	17.5	8.1
November	2240	11	3.8
December	1830	8.3	1.6

Estos resultados se han comprobado utilizando el programa PVGIS, en el cual introduciendo los valores de latitud de la localización, dimensiones del módulo solar y el periodo de



diseño, puede comprobarse la inclinación óptima para cada uno de los periodos de diseño de la instalación obteniendo las menores pérdidas posibles.

Los resultados del programa PVGIS indican que la inclinación óptima de los paneles solares en la instalación según el periodo de diseño sería:

Periodo de diseño	β_{opt}
Invierno	52°
verano	20°
Anual	34°

Tabla Inclinación de los paneles según el periodo de diseño con el programa PVGIS

En este proyecto se intentará diseñar una instalación solar fotovoltaica lo más eficiente posible por lo que se aprovechará la instalación durante todo el año de la forma más eficiente posible, por este motivo se estudiará la posibilidad de poder variar el ángulo de inclinación de los paneles respecto a la horizontal dependiendo si se está explotando durante un periodo de invierno o verano, es decir, la estructura soporte de los paneles solares tendrá la capacidad de poder cambiar de ángulo cuando estén funcionando en invierno o verano a manos de los responsables de mantenimiento de la instalación, de esta manera se captará la máxima cantidad de radiación solar posible durante todo el año.

4.6 Distancia mínima entre filas de módulos.

En este apartado se calculará la distancia mínima de separación entre las distintas filas de módulos solares que componen el generador fotovoltaico para que no se produzcan sombras de unos módulos sobre otros.

Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la distancia "d", medida sobre la horizontal, entre unas filas de módulos obstáculo, de altura "h", que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia "d" será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = \frac{h}{\text{tag}(61^\circ - \text{latitud})}$$

En la siguiente figura se muestran todas las medidas que debemos tener en cuenta:

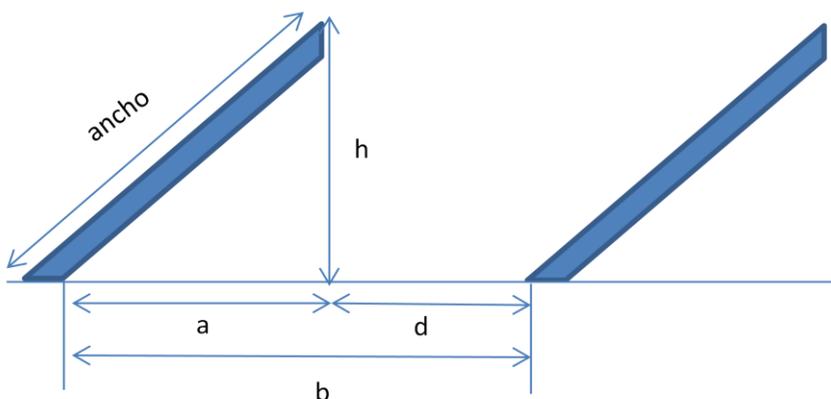


Figura: Esquema de distancias mínimas.

La distancia de separación entre filas de módulos dependen del ángulo de inclinación de éstos, así que cuanto más inclinado esté el panel, deberá guardarse mayor distancia entre filas.

En el caso proyectado, al tener dos posiciones, una para verano y otra para invierno, los paneles han de colocarse a una distancia aceptable para ambos periodos. Como los paneles estarán fijos a la azotea, los paneles se colocarán a la distancia que marque la ecuación anterior para un ángulo de 52° ya que es la máxima inclinación y donde deberá guardarse la máxima distancia entre filas de paneles.

Por lo tanto, sabiendo que la longitud del panel es de 995 mm y forma un ángulo con la horizontal de 52°, la altura "h" de los paneles será:

$$h = \text{seno}52^\circ \text{ ancho} = 0,784 \text{ m}$$

Conocida la altura que tendrán los paneles en su inclinación máxima y la latitud del lugar (40,035°), la distancia "d" entre paneles será de:

$$d = \frac{h}{\text{tag}(61^\circ - \text{latitud})}$$

$$d = 2,138 \text{ m}$$

Por tanto la distancia entre los extremos inferiores de dos paneles consecutivos resultará de la suma de la distancia $d=2,138\text{m}$ y la proyección de la longitud del panel sobre el suelo, es decir, $a = \cos 52^\circ \text{ ancho m}$; $a = 0,612 \text{ m}$; en total cada panel estará separado una distancia $b=2,75 \text{ m}$.

4.7 Cálculo del número de paneles.

En este punto se especificará cuantos paneles solares serán utilizados en la instalación y cómo se conectarán entre sí teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Área de la nave a ocupar por los paneles solares; lo visto en apartados anteriores, muestra que el área que como máximo podrán ocupar los paneles solares no es la totalidad de la azotea, sino que será un área rectangular cuya base está orientada totalmente al sur de dimensiones 60x40m.
- La separación entre filas; una vez calculada la separación mínima que debe haber entre filas de paneles, se podrá calcular el número de éstas que se podrán colocar sobre el área útil de la azotea:
- Número máximo de filas de paneles = $40 \text{ m} / 2,8 \text{ m} = 14,53$ filas
- Las dimensiones del panel solar; conociendo el área máxima que pueden ocupar los paneles solares y las dimensiones de cada uno de ellos, se obtienen cuantos paneles podrán colocarse en fila.

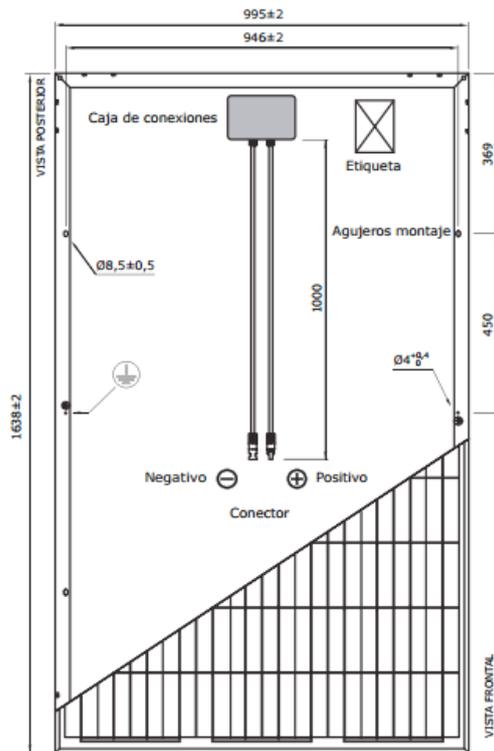


Figura: Dimensiones del módulo fotovoltaico A-250P GSE

Conocidas las dimensiones de los paneles solares, 1638 x 995 x 35, el área máxima a ocupar, 60x40m y teniendo en cuenta que los paneles estarán dispuestos horizontalmente, para que la separación entre columnas que calculada a continuación sea inferior y ofrezcan menor oposición al viento a la hora de calcular la estructura soporte, en cada fila podrán colocarse:

$$\text{Número máximo de paneles por fila} = 60 / 1,638 = 36,6 \text{ paneles}$$

Una vez obtenido el número máximo tanto de paneles como de filas que se pueden instalar en el área útil de la azotea, se calculará el número de paneles solares del que estará compuesto el generador fotovoltaico y con ello, su potencia nominal. Se han escogido **36 paneles por fila** y un total de **14 filas** en la azotea de la nave, lo que hacen un total de **504 paneles**, si cada uno de estos paneles **ATERSA A-250P GSE** tiene una potencia nominal de 250 W, la potencia máxima que podrá entregar el generador fotovoltaico será de **126.000 W**.

La conexión de los paneles que componen el generador fotovoltaico será la siguiente; en total de **36 ramales conectados en paralelo compuestos de 14 paneles cada uno** conectados en serie, la conexión de los paneles es muy importante para la elección del inversor, puesto la toma de dicha decisión estará basada en los valores de corriente y sobre todo de tensión que producirá el campo de paneles.

4.8 Cálculo de la estructura soporte.

La estructura soporte de la instalación estará adecuada para poder variar su inclinación durante distintos periodos de funcionamiento, variando el ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico hasta un ángulo óptimo dependiendo si es verano o invierno se

conseguirá captar la mayor cantidad de radiación solar posible en cada periodo de funcionamiento aumentando la eficiencia de la instalación

4.8.1 Sobrecargas soportadas.

Tal y como anuncia el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE, la estructura soporte de los paneles solares deberá resistir las sobrecargas del viento y nieve, de acuerdo con lo indicado en la normativa básica de la edificación NBE-AE-88. Para este caso, no se considerarán sobrecargas por nieve puesto que en esta zona de la provincia de Avila existe apenas riesgo de producirse nevadas durante el invierno y si ocurren, son de baja intensidad no ocasionando posibles sobrecargas a las estructuras.

Por otro lado, se tendrá en cuenta la sobrecarga producida por el viento en dicha zona, la estructura será dimensionada para soportar vientos de unos 120 km/h como máximo. Éste cálculo se realizará partiendo de la norma MV-103 para soportar cargas extremas debidas a factores climatológicos adversos como es el viento.

Las estructuras soporte tendrán la orientación óptima para la cual los paneles captan la mayor cantidad de radiación solar, es decir, orientarán los módulos hacia el sur, por tanto, los vientos que mayor carga ofrecerán sobre los anclajes serán los procedentes del norte, generando una fuerza sobre la estructura como se indica en la figura:

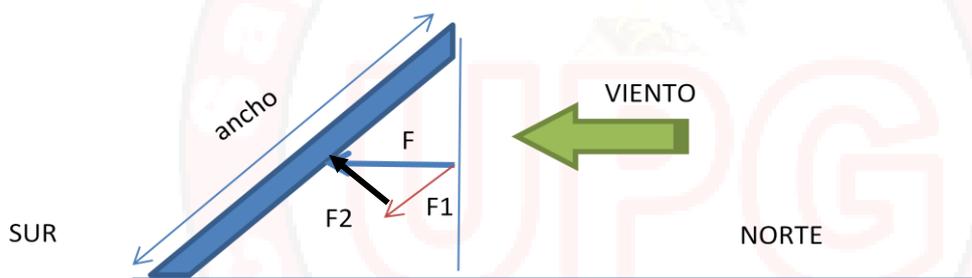


Figura Diagrama de fuerzas sobre la estructura.

En su camino, el viento encontrará una superficie obstáculo de altura definida por las dimensiones de los paneles solares y la inclinación a la que se encuentran. Cuanta mayor sea la inclinación de los paneles solares, mayor será la superficie obstáculo para el viento y por tanto, mayor será la carga que ejerza el viento sobre la estructura, por éste motivo, al tener dos posibles posiciones de los paneles, se dimensionará la estructura para que soporte la máxima carga que se dará con un ángulo de inclinación de 52°.

Para una inclinación de 52°, la superficie obstáculo que encuentra el viento viene dada por:

$$S_{\text{obstaculo}} = \text{Area}_{\text{panel}} * \text{sen}\beta = 1,638 * 0,995 * \text{sen}52^\circ = 1,28 \text{ m}^2$$

La fuerza que el viento ejerce sobre la superficie obstáculo ofrecida por los paneles solares viene dada en forma de presión, a unos 120km/h, la presión que ejerce el viento sobre una superficie perpendicular a su dirección es de unos 735N/m², por tanto la fuerza total que el viento ejerce sobre los paneles es de 944N.

Ahora bien, de esta fuerza que se ejerce sobre los paneles solares, parte de ella se pierde al deslizarse por la superficie de los módulos ya que no están totalmente perpendiculares al