

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería Industrial

APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA DE CAPA FINA EN EMPRESAS DEL SECTOR LOGÍSTICO

MEMORIA

AUTORA: M^a Araceli Gutiérrez Bernal

DIRECTOR: Emilio Hernández Chiva

FECHA CONVOCATORIA: Junio 2014



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona



RESUMEN

En el presente proyecto se va a estudiar la tecnología solar fotovoltaica de capa fina sobre la cubierta de las naves industriales en dos polígonos de Cataluña, concretamente uno en Lleida y otro de Tarragona.

Entre las diferentes modalidades de captación solar se ha elegido la tecnología flexible y se va a hacer un estudio energético, económico y medioambiental. Uno de los objetivos principales de la instalación fotovoltaica a implementar es el autoconsumo, comparando la generación de energía eléctrica con la consumida.

Durante todo el estudio se comparan dos tipos de lonas fotovoltaicas diferenciadas en la potencia pico, el producto 1 de potencia 144Wp y el producto 2 de 136Wp. Se instalan en toda la superficie posible de la cubierta industrial tanto en el polígono de Lleida como en el de Tarragona. Dichos polígonos son nombrados como CIM Lleida y CIM El Camp puesto que pertenecen a la empresa de logística CIMALSA.

Como resultados energéticos del total de los dos polígonos se han obtenido los siguientes valores, para el producto 1 un 8.031.085 kWh/año y para el producto 2 13.148.759 kWh/año. Esto supone un 64% sobre el consumo de la energía con el producto 1 y un 69% con el producto 2, ya que el consumo de energía entre los dos polígonos es de 18.960.318 kWh/año.

Además de los resultados energéticos se realiza también un análisis económico, tratando de realizar una serie de hipótesis. CIMALSA, tiene el papel de gestor energético y las empresas propietarias de las naves industriales pagan la factura eléctrica según las hipótesis de reducción económica. Se valora también la posibilidad de un cambio en la legislación de las energías renovables con los llamados “peajes de respaldo”, estudiando los cambios y la viabilidad o no de esta medida.

Por último, el estudio medioambiental, muy importante en esta situación, analizando las emisiones de CO₂ que podrán dejar de ser emitidas gracias a la energía solar fotovoltaica y la comparación con la compra de créditos por parte del Estado a raíz de superar la cantidad de CO₂ emitido.

1. GLOSARIO	5
2. PREFACIO	6
2.1. Origen del proyecto	6
2.2. Motivación	6
3. INTRODUCCION	6
3.1. Objetivo del proyecto	6
3.2. Alcance del proyecto	7
3.3. Sistema solución considerado	7
3.4. Fabricación de sistemas fotovoltaicos de capa delgada	9
4. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	10
4.1. Principales fuentes de energía	10
4.2. Radiación solar y conceptos básicos de la energía solar fotovoltaica	14
4.2.1. Criterios de elección y ventajas de la energía solar fotovoltaica	16
4.2.2. El efecto fotovoltaico	18
4.3. Situación en el mundo	19
4.4. Situación en Europa	21
4.5. Situación en España	22
4.6. El futuro de la energía solar fotovoltaica	23
4.7. Autoconsumo fotovoltaico	24
4.7.1. Clasificación de sistemas	24
4.7.2. Ventajas respecto consumo de la red	25
4.8. Sistema de suministro eléctrico con balance neto	25
4.9. Barreras de la energía fotovoltaica	26
4.10. Normativa legal	28
4.10.1. Real Decreto de Autoconsumo de energía eléctrica fotovoltaica	30
4.10.2. Borrador sobre los peajes de respaldo	32
5. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ACTUACIÓN	33
5.1. Introducción	33
5.2. Empresa logística	33
5.2.1. Centros	34
5.2.2. Situación y climatología de la zona	35

6. TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	37
6.1. Consideraciones previas de diseño.....	37
6.2. Sistema fotovoltaico solución	39
6.3. Componentes.....	40
6.3.1. Lonas fotovoltaicas.....	40
6.3.2. Inversores	43
6.3.1. Otros componentes.....	46
6.4. Potencia y diseño de la instalación.....	47
7. RESULTADOS ENERGÉTICOS	54
7.1. Cálculo de pérdidas en la instalación eléctrica.....	54
7.2. Producción de energía anual esperada.....	59
7.3. Comparativa con el consumo actual de la empresa	64
8. RESULTADOS ECONÓMICOS	65
8.1. Coste inversión y ahorro por energía fotovoltaica producida	66
8.2. Cuadro de resultados	68
8.3. Cuadro de resultados con peajes de respaldo	73
9. PLANIFICACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS INSTALACIONES	78
10. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACION	79
11. ESTUDIO DE IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA INSTALACION	80
11.1. Reducción de las emisiones de gases.....	81
11.2. Recuperación energética	83
12. CONCLUSIONES	85
13. AGRADECIMIENTOS	87
14. BIBLIOGRAFIA	88

1. GLOSARIO

TEP: tonelada equivalente de petróleo

Azimut: ángulo desviación respecto a la coordenada sur

Elevación: ángulo de inclinación respecto al plano horizontal

C.A.: corriente alterna

C.C.: corriente continúa

CEM: condiciones estándar de medida

FV: fotovoltaica

V_{ca} : tensión en circuito abierto

V_{pmp} : tensión en punto de máxima potencia

I_{cc} : intensidad de cortocircuito

I_{pmp} : intensidad en punto de máxima potencia

PR: performance ratio; indica la suma total de pérdidas que tiene una instalación fotovoltaica.

IPC: índice de precios al consumo

Pay-Back: periodo de retorno de la inversión, en años

CTE: código técnico de edificación

REBT: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

RAIPRE: Registro Administrativo de Instalaciones Productoras en Régimen Especial.

2. PREFACIO

2.1. Origen del proyecto

El origen del proyecto se encuentra en dos polígonos industriales del sector logístico de Cataluña concretamente de la empresa CIMALSA S.A. El primero de ellos está situado en la provincia de Lleida y el segundo en la provincia de Tarragona, en el municipio de Reus.

Debido a la gran superficie en cubierta disponible en las naves que la empresa objeto tiene en Cataluña, se desarrolla la idea de aumentar el valor intrínseco de estas en base a la implantación de servicios avanzados, innovadores, efectivos y rentables como son las cubiertas solares.

2.2. Motivación

Actualmente, a nivel europeo y mundial se está apostando por fuentes de energía que no contribuyan al cambio climático ni a la dependencia del petróleo, es decir, las energías renovables. Estas, son energías limpias e inagotables.

En España tenemos un gran potencial que debemos desarrollar, el grado de irradiación es altísimo comparado con otros lugares de Europa. Por ello, en los últimos años es la energía renovable en la que más se está apostando.

A nivel energético mundial, la Tierra intercepta 1,5 trillones de MWh/año de energía solar, una cantidad equivalente a unas 28.000 veces el total del consumo energético de la humanidad. Esta cantidad de energía se reparte por toda la superficie del planeta en la que España se encuentra en una situación privilegiada en cuando a su recepción energética.

La península Ibérica tiene los valores más altos de insolación de toda la Comunidad Europea entre un máximo de 1.750 y un mínimo de 1.250 kWh por metro cuadrado y año, lo que supone valores medios de 4,5 kWh por metro cuadrado y día.

A su vez, la situación de Cataluña es destacable dentro de España ya que cada día el Sol proporciona unos 120.000 GWh de energía con una variación del 10% según la época del año y la orientación en la que nos encontremos.

3. INTRODUCCION

3.1. Objetivo del proyecto

El proyecto en cuestión tiene como principal objetivo la captación de energía solar fotovoltaica desde las cubiertas de naves industriales diferentes áreas industriales de Cataluña.



La tecnología fotovoltaica utilizada para la captación es la lona fotovoltaica que recubre la cubierta de la nave y se estudia si esta energía captada sirve para el consumo de dicha nave.

Del mismo modo, se estudiará la sostenibilidad económica así como también, el impacto medioambiental y social.

3.2. Alcance del proyecto

El presente proyecto se centra en las naves industriales de dos polígonos dedicados al sector logístico de Cataluña, uno de ellos situado en la provincia de Lleida y el otro en la provincia de Tarragona.

El alcance del proyecto abarca los siguientes aspectos:

- Introducción a la energía solar y sus aplicaciones destacando la energía solar fotovoltaica. Explicación de su funcionamiento, sus tipologías de instalación, grado de desarrollo actual, perspectivas de futuro, etc.
- Dimensionamiento de las cubiertas de las naves de la empresa CIMALSA en los polígonos industriales de Lleida y Tarragona tratando de hacer un estudio para la implantación de lonas fotovoltaicas.
- Estudio energético y económico para el sistema solución, evaluando la viabilidad del mismo con el fin de poder comparar los resultados obtenidos con el consumo real de los polígonos y proponer alternativas de uso al excedente energético, si lo hubiera.
- Comparación de los resultados energéticos con los de otras ciudades, Vitoria en España y Hamburgo, en Alemania.
- Consideraciones medioambientales estudiando el impacto ambiental en la aplicación de la tecnología de lonas fotovoltaicas.

3.3. Sistema solución considerado

Gracias al buen nivel de insolación del que dispone Cataluña, se optará por el uso de la energía solar fotovoltaica.

El aprovechamiento de la radiación solar se llevaba a cabo mediante paneles fotovoltaicos orientados adecuadamente para captar la radiación incidente.

Ha habido ciertos problemas en la implantación de dichos paneles fotovoltaicos, ocupan una gran superficie de terreno donde se vayan a implantar y, además provocan un gran impacto visual. Debido al *Real Decreto-Ley 20/2012, vigente desde el 1 de enero de 2014, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de pre-asignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para las nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía y residuos*, [2] no tiene sentido pensar en instalaciones fotovoltaicas conectadas a red. Por lo tanto, se están pensando nuevas soluciones

para evitar estos impactos pero al mismo tiempo poder seguir obteniendo la misma cantidad de energía.

La solución que se da en este proyecto viene de la idea pensada en aprovechar la gran superficie de cubierta de la que se dispone en las naves industriales de la empresa objeto del proyecto para captar radiación solar.

El principal inconveniente de instalar los paneles fotovoltaicos en las cubiertas de las naves industriales es que la estructura de estas no ha sido diseñada para poder soportar el peso y por lo tanto no se pueden utilizar las placas fotovoltaicas comunes.

Analizando las posibles soluciones se ha optado por la tecnología de capa delgada o lonas fotovoltaicas para la captación de la radiación.

Principales ventajas de las lonas fotovoltaicas:

- Son muy ligeras, no necesitan una estructura propia, si no que se adaptan y se quedan pegadas a la de abajo, por lo que no pesan tanto como los paneles solares y no es necesario cambiar la estructura de las naves.
- El hecho de poder ponerlas sobre la cubierta de las naves hace que no se necesite invertir en un terreno nuevo, si no que se aprovecha uno existente y normalmente en desuso. De esta manera, se optimiza el espacio disponible.
- No supone cambios en la actividad cotidiana del edificio.
- Se permite convertir la cubierta de una nave industrial, en una rentable planta de producción de electricidad partiendo de una fuente de energía renovable y sostenible.
- Supone una mayor garantía frente a actos vandálicos y robos por la propia situación física de los elementos que constituyen la instalación. Se trata de un entorno más vigilado.
- El impacto visual de las redes de transporte de energía es menor. No se emplean líneas de distribución ni subestaciones para su conexión a la red eléctrica. Además, no hay pérdidas de energía debido al transporte.
- La conexión eléctrica es más sencilla y económica.
- En relación al impacto visual estético es nulo si consideramos que la mayoría de cubiertas ya están dañadas o degradadas estéticamente.
- Poner lonas fotovoltaicas en las cubiertas proporciona un aislamiento térmico adicional al edificio. Se consigue que en el interior de la nave, la temperatura durante el verano presente un descenso y el consecuente ahorro energético a nivel de climatización.
- Aporta un alto grado de modernidad e innovación a la vez que hace entrever la conciencia e interés que el propietario y su empresa tiene hacia el medio ambiente.

- Las lonas fotovoltaicas son productoras de energía limpia, no contaminante, son altamente productivas, ecológicas y contribuyen a la sostenibilidad.
- Los trámites de implantación sobre cubiertas son más ágiles con respecto a las instalaciones de paneles fotovoltaicos, que se denominan “huertos fotovoltaicos”.

3.4. Fabricación de sistemas fotovoltaicos de capa delgada

Para la fabricación de las lonas fotovoltaicas se utiliza la capa delgada de silicio amorfo. Las tecnologías fotovoltaicas de capa fina, utilizan cantidades muy pequeñas de material semiconductor que son depositados en películas de micras de espesor sobre una base receptora, que puede ser incluso flexible, y necesitan mucha menos energía y tiempo para su fabricación en comparación con las clásicas células fotovoltaicas de silicio cristalino.

Los procesos de fabricación se han desarrollado fuertemente a partir de los años noventa. El método más evolucionado consiste en cubrir un sustrato, que suele ser vidrio, con una capa muy fina de un semiconductor sensible a la radiación (fotoactivo). Debido a la gran absorción de la radiación de estos materiales basta con espesores menores de 0,001mm para la transformación de la radiación solar en electricidad. La temperatura que se alcanza en el proceso de fabricación de células de película delgada de silicio es de unos 200-500°C frente a los 1500°C que se necesitan en el caso de células de silicio cristalino.

Si se sigue comparando con el proceso de fabricación de módulos fotovoltaicos, resulta ser más económico debido a la reducción de costes tanto en el material, en la energía consumida y en el grado de automatización del proceso.

En España se han iniciado diversas iniciativas industriales para la producción de silicio amorfo, destacando:

- Solaira: compañía que fabrica módulos fotovoltaicos a los que incorpora células solares también de fabricación propia. Tiene su centro de investigación ubicado en Puertollano (Ciudad Real). Está reconocido entre los grandes fabricantes de módulos fotovoltaicos a nivel internacional.
- Grupo Unisolar: produce módulos fotovoltaicos en su planta de Béjar (Salamanca).
- Grupo T-Solar: produce módulos fotovoltaicos en su planta de Orense con una capacidad de 45MWp/año en 2010.

4. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

4.1. Principales fuentes de energía

Fuentes de energía no renovable:

Energía no renovable se refiere a aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, ya que coexiste sistema de producción o extracción viable.

Dentro de las fuentes de energía no renovable, comúnmente se distinguen principalmente tres tipos:

- a) Las fuentes de energía fósil.
- b) Las fuentes de energía geotérmica.
- c) La energía nuclear.

a) Fuentes de energía fósil

Se llama energía fósil a la que se obtiene de la combustión de ciertas sustancias que, según la geología, se produjeron en el subsuelo a partir de la acumulación de grandes cantidades de residuos de seres vivos, hace millones de años.

Entre dichas sustancias destacan:

- Petróleo y sus derivados:

El petróleo es una mezcla de una gran variedad de hidrocarburos (compuestos de carbono e hidrógeno) en fase líquida, mezclados con una variedad de impurezas. Por destilación y otros procesos, se obtienen las diversas variedades de gasolinas, diesel, etc. A nivel mundial ya no es un recurso abundante, y se encuentra muy sobreexplotado, por motivos energéticos y financieros.

- Gas natural:

El gas natural está compuesto principalmente por metano y corresponde a la fracción más ligera de los hidrocarburos, por lo que se encuentra en los yacimientos en forma gaseosa.

- Carbón mineral:

El carbón mineral está compuesto principalmente por carbono, también de origen fósil, que se encuentra en grandes yacimientos en el subsuelo. A nivel mundial, el carbón es abundante, pero los problemas ecológicos que causa son aun más mayores que los inherentes al petróleo y sus derivados.

b) Energía geotérmica



La energía geotérmica consiste en extraer calor del magma incandescente de la Tierra, por medio de vapor. Mediante procesos térmicos, es posible generar electricidad, en las plantas “geotermoeléctricas”.

El magma se encuentra cerca de la superficie terrestre en las zonas con gran actividad volcánica, y es de dónde más se puede explotar.

En algunos casos el vapor o el agua caliente brotan espontáneamente. En otros, es necesario inyectar agua en pozos y extraerla en forma de vapor. Es necesario saber que el aprovechamiento de la energía geotérmica no involucra una combustión.

c) Energía nuclear

La energía nuclear se obtiene de la modificación de núcleos de algunos átomos, muy pesada o muy ligera. En esta modificación, cierta fracción de su masa se transforma en energía. La liberación de energía nuclear, por tanto, tampoco involucra combustiones, pero sí produce otros subproductos agresivos al ambiente.

Se distinguen, principalmente, dos procesos:

- **Fisión**

La fisión nuclear consiste en la desintegración de átomos pesados, como ciertos isótopos de uranio o plutonio, para obtener átomos más pequeños. Dentro de la fisión existen diversas variantes.

- **Fusión**

La fusión nuclear consiste en la obtención de átomos de mayor tamaño, a partir de ciertos isótopos de átomos pequeños, como el tritio, de esta manera se libera una gran cantidad de energía. Aunque todavía no se ha logrado desarrollar una técnica para aprovechar la fusión nuclear en la Tierra con fines pacíficos.

Fuentes de energía renovable

Se llama fuente de energía renovable a aquella que, administrada en forma adecuada, puede explotarse ilimitadamente, es decir, su cantidad disponible (en la Tierra) no disminuye a medida que se aprovecha.

Una breve descripción de los diferentes tipos de energías renovables:

a) Energía solar



La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida por la porción de luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra. España es un país con alta incidencia de energía solar en la gran mayoría de su territorio.

- Energía Solar Directa:

Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un colector solar. Otra paliación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en producción con tecnología simple.

- Energía Solar Térmica:

Se denomina térmica a la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, etc.

Tiene un papel fundamental entre las diferentes energías renovables conocidas hoy en día, como lo demuestra la siguiente tabla 4.1.:

Energía	TEP/año
Solar	9,8x10¹³
Eólica	1,4x10 ¹⁰
Biomasa	2,8x10 ⁹
Olas	1,7x10 ⁹
Hidráulica	1,7x10 ⁹
Mareomotriz	1,9x10 ⁹

Tabla 4.1. Energías renovables y recursos

- Energía Solar Fotovoltaica:

Se llama “fotovoltaica” a la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin que tenga lugar un efecto térmico.

b) Energía eólica

La energía eólica es aquella energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes del aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. Ha sido aprovechada desde la antigüedad para

mover barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, tiene como principal inconveniente su intermitencia.

c) Energía de la biomasa

La forma más antigua de aprovechamiento de la energía solar, inventada por la misma naturaleza, es la fotosíntesis. Mediante este mecanismo, las plantas elaboran su propio alimento (su fuente de energía) y el de otros seres vivos de las diferentes cadenas alimenticias. De la propia fotosíntesis, también se pueden obtener muchas aplicaciones con alto valor energético. Se puede utilizar energía solar para producir sustancias con alto contenido energético como el alcohol y el metano.

d) Energía de las olas

También se ha propuesto aprovechar, en ciertos lugares de la Tierra, el vaivén de las olas del mar para generar energía eléctrica. Las olas son, a su vez, producidas por el efecto del viento sobre el agua. Por tanto, también es una forma derivada de energía solar.

e) Energía hidráulica

Se denomina energía hidráulica o hídrica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua o mareas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada solo una forma de energía renovable.

La utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas de represas, aunque no son consideradas formas de energía verde por el alto impacto ambiental que producen.

Cuando el Sol calienta la Tierra, además de generar corrientes de aire, hace que el agua de los mares se evapore y ascienda por el aire moviéndose hacia regiones montañosas, para luego caer en forma de lluvia. Esta agua se puede coleccionar y reponer mediante presas. Parte del agua almacenada se deja salir para que se muevan los alabes de la una turbina engranada con un generador de energía eléctrica.

f) Energía de las mareas o mareomotriz

La energía mareomotriz es la que se obtiene aprovechando las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna, y que resulta de la atracción gravitatoria de esa última y del Sol sobre las masas de agua de los mares. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse poniendo

partes móviles al proceso natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje.

Mediante se acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable. Es un tipo de reserva limpia.

La cualidad principal de la energía mareomotriz es ser un recurso renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable a este tipo de energía.

4.2. Radiación solar y conceptos básicos de la energía solar fotovoltaica

El Sol es una fuente de energía limpia, inagotable, abundante y disponible en casi toda la superficie del planeta, es la principal fuente de energía renovable. Este, envía a la Tierra energía radiante (luz visible, radiación infrarroja y ultravioleta) con una potencia media de $3,7 \times 10^{14}$ TW, de la que llega a la superficie terrestre 173.000 TW, o lo que es lo mismo 9000 W/m^2 . La figura 4.1. corresponde a la radiación solar según las zonas europeas.

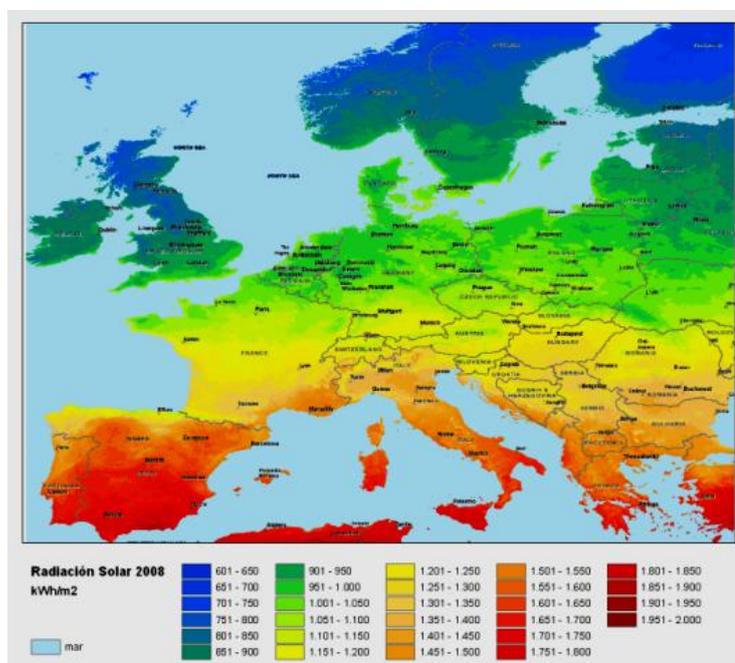


Figura 4.1. Radiación solar según zona europea

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro el cual emite energía siguiendo la ley de Planck a la temperatura ya citada. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado).

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 valores de radiación solar actualizados de nuestra provincia.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, lo que las convierte en preferentes.

La energía solar tiene como mayor inconveniente poder convertirla de una forma eficiente en energía aprovechable. La tecnología actual en este sentido va dirigida en dos direcciones: conversión eléctrica y conversión térmica.

La conversión directa en energía eléctrica se produce en las células solares y se basa en el efecto fotovoltaico. Este apartado tiene como objetivos dar una visión general del estado actual y las aplicaciones de esta energía.

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio del proceso directo de la transformación de la energía del sol en energía eléctrica.

Esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se va a profundizar:

- a) El proceso de transformación de la energía del sol se puede llevar a cabo de dos maneras:
 - i. En la primera, se utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos.
 - ii. En la segunda se utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A esta energía se le llama **fotovoltaica**. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

Es necesario disponer de un sistema forzado por equipos especialmente contruidos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos.

Sin embargo, lo sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones, tales como la alimentación de sistemas de emergencia o alumbrados aislados, que son factibles en cualquier lugar.

En el caso particular de España, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa muy interesante, desde la prospectiva técnica, pues la región dispone durante todo el año de abundante radiación solar.

Puesto que la energía del Sol es un recurso de uso universal, no se debe pagar por utilizar esta energía incidente.

4.2.1. Criterios de elección y ventajas de la energía solar fotovoltaica

Se sabe que la energía media anual que incide sobre cada metro cuadrado de la tierra es de unos 5kWh. El valor medio por día de esta energía es de unos 0,2kWh/m². El problema que existe es que la tierra describe una trayectoria alrededor del Sol que hace que la inclinación con la que inciden los rayos solares sobre la superficie terráquea varíe a lo largo del día y del año.

En una determinada latitud como la de España, la inclinación del Sol sobre una superficie horizontal va variando entre los 0° y los 20° en invierno y entre los 0° y los 60° en verano.

Las principales razones para escoger energía solar fotovoltaica en lugar de otras energías limpias son:

a) SIMPLICIDAD

Los sistemas solares fotovoltaicos van a generar la electricidad directamente a partir de la luz del sol. En cierta medida, se pueden llegar a adquirir como si fueran un kit e, incluso en el caso más complejo de sistemas de conexión a la red, requieren un mínimo de mantenimiento. Si se trata de sistemas aislados será necesario disponer de un sistema de almacenamiento mediante baterías que pueden gozar de larga duración.

b) MODULARIDAD

Un sistema fotovoltaico al disponer de módulos siempre se va a poderse ampliar con nuevos elementos.

c) DURACIÓN

Los módulos fotovoltaicos se fabrican de manera que puedan resistir todo tipo de fenómenos meteorológicos adversos. Los fabricantes garantizan los paneles por periodos de 30 años.

d) SEGURIDAD

En un sistema fotovoltaico no existe ningún riesgo potencial que pueda afectar a personas o materiales. No existen elementos inflamables y no atraen los rayos. Los inversores, que conectan el sistema fotovoltaico con la red eléctrica, funcionan con chips que los hacen muy fiables.

La producción de energía a través de fuentes renovables contribuye a desarrollar un planeta limpio y sostenible. La sociedad cada vez toma más conciencia de los beneficios tanto medioambientales como económicos que supone la generación de energía limpia.

La energía solar fotovoltaica ofrece numerosas ventajas competitivas respecto a otras fuentes energéticas. Entre las numerosas ventajas destacan las siguientes:

1. El sol es una fuente energética gratuita e inagotable. El silicio, material utilizado como semiconductor en las células fotovoltaicas, es el segundo material más abundante en la corteza de la tierra.
2. La generación de energía solar fotovoltaica no produce ruido ni emisiones contaminantes ni gases tóxicos, lo que contribuye a combatir el cambio climático.
3. No precisa de un suministro exterior, no consume combustible, ni necesita presencia de otros recursos como el agua o el viento.
4. Las centrales fotovoltaicas ofrecen una rentabilidad duradera ya que su funcionamiento puede prolongarse durante más de 25 años.
5. La energía necesaria para fabricar un módulo fotovoltaico representa sólo entre 1,5 y 3 años de la vida productiva del módulo, es decir, un módulo genera entre 6 y 18 veces más energía de la que utiliza en su fabricación.
6. Los módulos fotovoltaicos pueden ser reciclados al final de su vida útil y algunos de los materiales que los componen pueden ser reutilizados.
7. Los módulos fotovoltaicos ofrecen una fácil instalación y requieren un mantenimiento mínimo.
8. La tecnología solar fotovoltaica permite generar electricidad limpia en zonas rurales remotas.
9. La versatilidad en la utilización de algunos módulos fotovoltaicos permite su integración en edificios (Building Integrated Photovoltaics), con un resultado estéticamente muy atractivo.
10. El sector fotovoltaico se ha convertido en un sector generador de empleo y riqueza.
11. La energía solar fotovoltaica reduce la dependencia energética de los países.

4.2.2. El efecto fotovoltaico

La energía solar fotovoltaica transforma la radiación en electricidad y se puede diferenciar de la energía solar térmica que aprovecha el calor generado por la radiación.

El efecto fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas.

Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre la célula FV pueden ser reflejados o absorbidos (pueden pasar a través). Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del mismo se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de la célula solar son las capas de semiconductores, tal que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentes dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una partes y negativo en la otra. Cuando la luz solar incide en la célula, se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando corriente eléctrica. Es por ello estas células se fabrican a partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a baja temperatura y como conductores cuando se aumenta la energía.

Además de los semiconductores, las células solares están formadas por una malla metálica superior u otro tipo de contrato para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. En la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulado y transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa anti reflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

Las células FV convierten la energía de la luz en energía eléctrica. El rendimiento de conversión es la proporción de luz solar que la célula convierte en energía eléctrica fundamental en los dispositivos fotovoltaicos, ya que el aumento de rendimiento hace de la energía solar FV una energía más competitiva con otras fuentes.

Estas células están conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco de manera que conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 o 24V). La corriente depende del nivel de insolación.

La estructura del módulo protege a las células del medio ambiente siendo éstas muy duraderas y fiables. Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador FV. Los generadores o módulos fotovoltaicos podrecen corriente continua (CC) y

pueden ser conectados en serie o en paralelo para poder producir cualquier combinación de corriente y tensión.

Un módulo o generador FV por sí mismo no bombea agua o ilumina una casa durante la noche, para ello es necesario un sistema FV completo que consiste en un generador FV junto a otros componentes. Estos, varían y dependen del tipo de aplicación o servicio que se quiere proporcionar.

Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos o conectados a la red eléctrica. En definitiva y cómo podemos ver, nos encontramos ante una fuente de energía, que además de renovable se nos presenta como una clara apuesta de futuro de cara al planteamiento energético en los próximos años.

4.3. Situación en el mundo

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que en materia de generación de energía se presentan.

Este crecimiento se ha producido gracias a los mecanismos de fomento de algunos países, que, como España, han propiciado un gran incremento de la capacidad global de fabricación, distribución e instalación de esta tecnología.

A finales de 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40.000 MWp según datos de la European Photovoltaic Industry Association (EPIA), de los cuales cerca de 29.000 MWp, un 72%, se localiza en la Unión Europea. Para los próximos años se espera que el continuo crecimiento de la última década a nivel mundial se mantenga.

Las tres áreas de mayor interés en el mundo, según la potencia acumulada, son Europa (destacando Alemania y España, con más de un 52% del total mundial), Japón y EE.UU. Japón con cerca de 3.622 MW acumulados y EE.UU. con aproximadamente 2.727 MW representan el 9% y el 6,80% respectivamente de la potencia total. En el siguiente gráfico (ver figura 4.2.) se representa el histórico de la potencia acumulada a nivel mundial en los últimos años, apreciándose claramente el crecimiento exponencial.

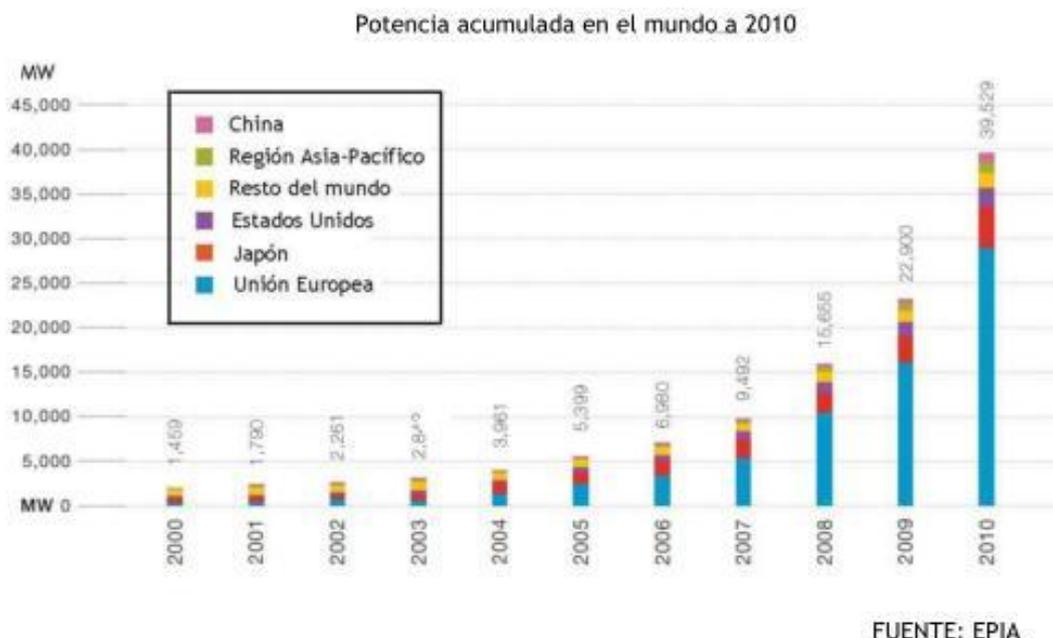


Figura 4.2. Potencia acumulada en el mundo en 2010

A corto plazo es previsible que esta distribución del mercado se mantenga, si bien hay países que empiezan a despuntar, lo cual hace suponer también que en el futuro el peso relativo de los países con más potencia no será tan preponderante como en la actualidad. Así países como Italia, que se convierte en el año 2009 en el segundo mercado mundial, con 711 MW instalados, y en el año 2010 se estiman unos 2.321 MW más. En Europa la República Checa que instaló en 2009 411 MW y en 2010 aproximadamente unos 1.490 MW, y Bélgica 210 MW en 2010. Japón y Estados Unidos siguen manteniéndose en sus posiciones con 990 MW y 980 MW instalados

Los datos más relevantes de la industria solar fotovoltaica en el mundo son:

- Los países principales por potencia instalada en 2010, por orden, fueron:

Alemania (7.408 MW), Italia (2.321 MW), República Checa (1.490 MW) Japón (990 MW) y EE.UU. (980 MW).

- La potencia mundial instalada en el año 2010 fue de 16.600 MW, lo que supuso un incremento del 72% de la potencia mundial acumulada con respecto al año 2009.

- El 79% de la potencia mundial instalada en 2010 fue en la Unión Europea, con más de 13.240 MW. Dentro de la Unión Europea el mercado alemán fue claramente el preponderante representando el 59% de todo el mercado europeo.

- Japón ha instalado 990 MW en 2010 llegando a una potencia total instalada de 3,6 GW.

- EE.UU. instaló en 2010 980 MW en 2010, alcanzando aproximadamente los 2,7

GW.

- Italia con una potencia total acumulada de 3,4 GW se convierte en el segundo mercado mundial en el año 2009 y 2010, habiendo instalado 711 MW y 2.321 MW respectivamente.

4.4. Situación en Europa

En Europa, según datos de EurObserv'ER, la potencia instalada ascendía a finales de 2010 a 29.327 MWp, repartidos entre 29.173 MWp de instalaciones conectadas a red y 154 MWp de instalaciones aisladas de la red eléctrica. En la siguiente figura 4.3. se muestra las potencias acumulada en 2010 en los principales países de la Unión Europea.

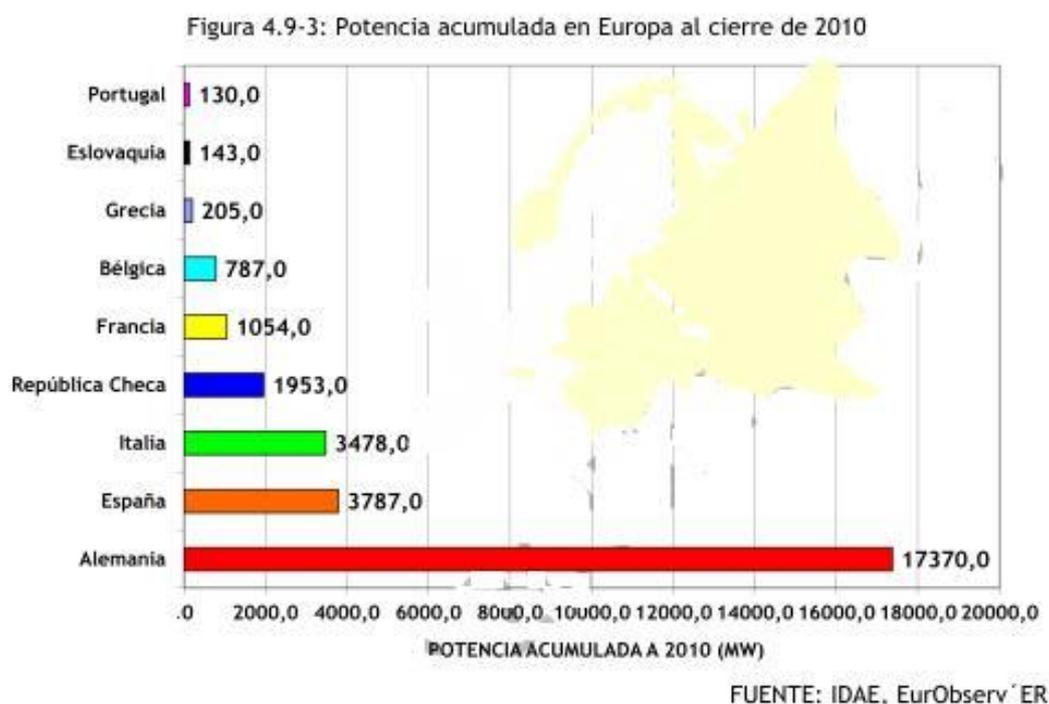


Figura 4.3. Potencia acumulada en Europa en 2010

Alemania es el país de la Unión Europea con mayor potencia fotovoltaica acumulada, con 17.370 MW instalados en 2010. Domina claramente el mercado europeo, representando el 59 % de éste. España, con 3.787 MW acumulados, es el segundo país por potencia acumulada en 2010.

En el año 2008 España fue el primer país por potencia instalada, con 2.705 MW, frente a los 1.809 MW de Alemania, que fue el segundo país del mundo. La potencia instalada en España en 2009 no obtuvo un incremento tan fuerte como en el año anterior debido al cambio de regulación del sector. El cierre de 2010 muestra un incremento con respecto a 2009.

Entre el resto de países destacan Italia, República Checa, Bélgica y Francia, que estudian políticas de desarrollo a semejanza de Alemania y España. Hay que destacar en este sentido al gobierno italiano, que mediante la aprobación del Nuevo Conto fija una prima fija adicional al precio de mercado de la energía. Esta prima varía según el nivel de integración de la instalación y es válida durante los 20 primeros años de explotación. El crecimiento del sector fotovoltaico en Italia, por tanto, se asienta bajo las premisas de incentivos y la simplificación de los trámites administrativos.

Italia, con estas políticas, ha alcanzado unos 711 MW instalados en el año 2009 y un total acumulado en el año 2010 de 3.478 MW.

4.5. Situación en España

España se sitúa como segundo país a nivel mundial tras Alemania, en potencia instalada. La potencia total acumulada en el año 2010 alcanzó los 3.787 MW.

A continuación se muestra la evolución de potencia instalada anualmente y la total acumulada en España conectada a red hasta 2010. (Ver figura 4.4.).

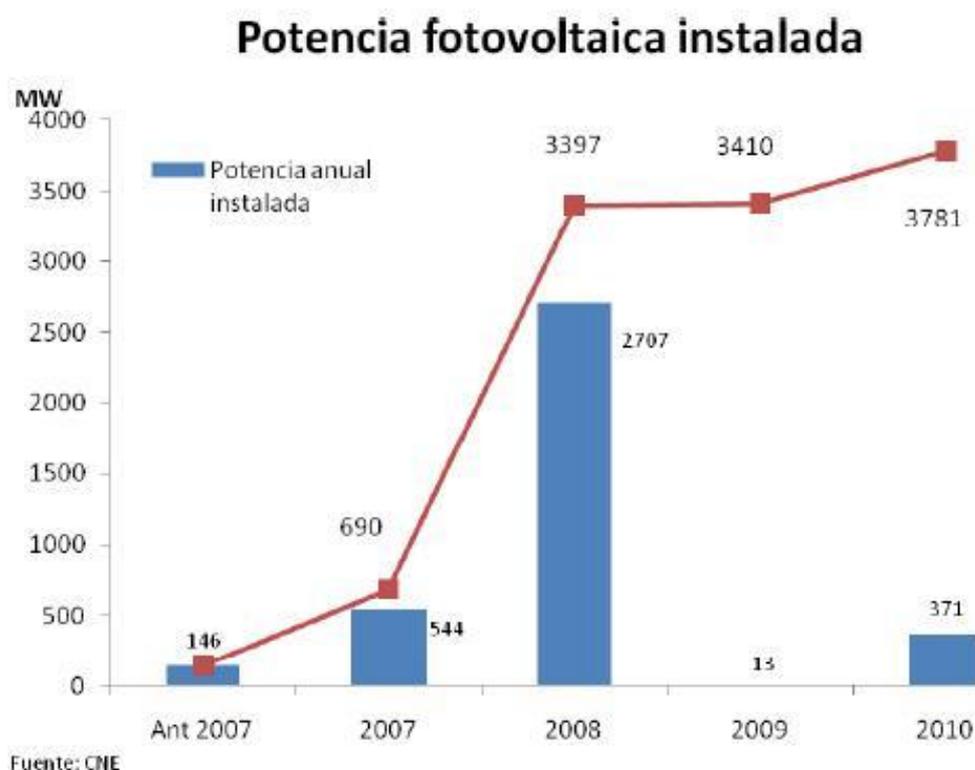


Figura 4.4. Potencia fotovoltaica instalada

España es uno de los países con más horas de irradiación solar en todo el Mediterráneo. La mayor parte de su territorio, excluyendo Canarias, recibe más de 2.500 horas de sol al año. Sin embargo, en la península ibérica no se aprovecha como cabría esperar esta bendición climatológica para convertirla en energía. En el polo opuesto, Alemania, país con mucho menos sol, es el líder mundial en la producción de esta energía. Cada año, el Sol arroja sobre la Tierra 4.000 veces más energía que la que se consume. El objetivo marcado por la UE es lograr que en el 2020 el 20% del consumo energético proceda de renovables, un gran beneficio individual y colectivo.

4.6. El futuro de la energía solar fotovoltaica

Una vez vistas las ventajas incomparables de este tipo de energía, tanto a nivel ecológico como económico, se puede pensar que esta será una de las grandes energías del futuro. Es de esperar que su parte en la producción mundial aumente en los próximos años.

Desde Bruselas se pide que en 2020 con carácter vinculante, el 20% del consumo de energía de la Unión Europea sea de origen renovable. Este acuerdo requiere coherencia y voluntad política de los grandes gobiernos europeos para que se transforme en las decisiones que tanto han proclamado muchos de ellos pero que pocos lo practican.

En el caso de España, este acuerdo significa un respaldo en el sector de las energías renovables que lleva más de veinte años reclamando un marco económico y normativo que desarrolle el mercado de las renovables como apuesta tecnológica e innovadora frente a un modelo de crecimiento económico basado exclusivamente en el consumo de hidrocarburos.

El gran reto para España es incrementar el mercado y la demanda de la energía solar fotovoltaica como se ha hecho con la eólica. En el caso de la energía eólica está la cabeza mundial mientras que la fotovoltaica no se está explotando todo lo que se podría dada la gran radiación solar de la que dispone la situación del país. Al comparar la potencia acumulada en Alemania y darse cuenta de que son 10 veces más que en España mientras que la radiación es un 35% menos nos hace una idea de la oportunidad que se está perdiendo.

La energía fotovoltaica ha aumentado su eficiencia en gran forma durante las últimas décadas, pero todavía no lo ha hecho lo suficiente para entrar de manera masiva al mercado. Se estima que el futuro de la energía solar no está ligado únicamente a las aplicaciones o utilidades que se puedan obtener de ella, si no a los costes que las personas tengan que abonar por una instalación de tipo solar.

Los inversores de instalaciones solares fotovoltaicas aumentarían si el coste de inversión inicial para ellos a la hora de adquirir paneles fotovoltaicos fuera menor, o si las subvenciones de los Estados fueran más altas y los trámites burocráticos tuvieran más fluidez.

Actualmente, el acceso a la red eléctrica en España requiere una serie de permisos de la administración y la autorización de la compañía eléctrica distribuidora de la zona. Esta, tiene la obligación de dar punto de conexión a la red eléctrica, pero en la práctica, el papeleo y la reticencia de las eléctricas están frenando el impulso de las energías renovables. Las eléctricas buscan motivos técnicos como la saturación de la red para controlar sus intereses en otras fuentes energéticas y la intención de bloquear la iniciativa de los pequeños promotores de energía solar fotovoltaica.

Esta situación provoca una grave contradicción entre los objetivos de la Unión Europea para impulsar las energías limpias y la realidad de una escasa liberalización en España del sector energético que impide el despegue y la libre competitividad de las energías renovables.

4.7. Autoconsumo fotovoltaico

El autoconsumo fotovoltaico hace referencia a la producción individual de electricidad para el propio consumo, a través de paneles solares fotovoltaicos.

La capacidad de producir, gestionar y consumir la energía generada mediante energía fotovoltaica, ya sea con o sin acumulación de la misma es una manera sencilla, limpia y rentable. Desde viviendas residenciales, hasta hoteles, negocios o industrias, hoy día con un sistema fotovoltaico se puede ser capaz de producir una energía propia y satisfacer en gran medida los consumos energéticos.

Gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras células solares comerciales y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red.

4.7.1. Clasificación de sistemas

Los sistemas de autoconsumo se clasifican en aislados o con conexión a red según estén o no conectados a la red eléctrica.

- Sistemas aislados

El sistema aislado se utiliza para producir electricidad que se consume en el instante o se almacena en una batería eléctrica para un posterior uso.

- Sistemas de conexión a red
 - El sistema de conexión a red permite verter los excesos de electricidad, es decir, la que no se consume, a la red eléctrica. Este, permite obtener un suministro de electricidad con el mecanismo de compensación

diferida o balance neto, un sistema de compensación de saldos, gestionado por las compañías eléctricas, que descuenta de la electricidad obtenida de la red, los excesos de producción del sistema de autoconsumo. Esta práctica está sujeta a la legislación de cada país.

- Sistemas formados principalmente por el conjunto de paneles o lonas fotovoltaicas e inversores. A parte de estos componentes también hay baterías, cargadores, controladores y accesorios para montar el sistema.
 - Los paneles o lonas fotovoltaicas están formados por un conjunto de celdas en las que la luz incide sobre ellas y así producen energía.
 - El inversor es el encargado de transformar la corriente continua en alterna y se une a los paneles mediante cables.
- Sistemas conmutados con la red

También se puede hacer un sistema conmutado con la red; bien con un conmutador aparte o integrado en el inversor, que conmutan la instalación solar con la de la red en 10 milisegundos; con lo que convertimos la instalación solar en una aislada. Se necesitan unas baterías con un poco de acumulación, lo que no encarece demasiado la instalación en comparación con la de conexión, pero puede acogerse a la legislación de aislada.

4.7.2. Ventajas respecto consumo de la red

- Una gestión de la energía consumida mucho más precisa, un mayor control de su producción y consumo suponen un ahorro considerable.
- Se genera un sistema distribuido de generación eléctrica que reduce la necesidad de invertir en nuevas redes y reduce las pérdidas de energía por el transporte de la electricidad a través de la red.
- Contribuir en la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera y por tanto evitar el sobrecalentamiento del planeta.
- Se reduce la dependencia energética del país con el exterior.
- Se evitan problemas para abastecer toda la demanda en hora punta, conocidos por los cortes de electricidad y subidas de tensión.
- Se minimiza el impacto de las instalaciones eléctricas en su entorno.

4.8. Sistema de suministro eléctrico con balance neto

El suministro eléctrico con balance neto es un sistema de compensación de saldos de energía de manera instantánea o diferida, que permite a los consumidores la producción individual de energía para su propio consumo.

El objetivo de este sistema es verter a la red eléctrica el exceso producido por un sistema de autoconsumo con la finalidad de poder hacer uso de ese exceso en otro momento. De esta manera, la compañía eléctrica que proporciona electricidad cuando la demanda es superior a la producción del sistema de autoconsumo, descontará en el consumo de la red de la factura, los excesos vertidos a la misma.

En países como EE.UU ya existe este sistema y se llama crédito eléctrico, está presente en más de 40 estados. Países de la Unión Europea como Italia, Bélgica y Alemania también tienen este sistema de balance neto. En Italia se abona el doble y no se paga por lo que se consume, en Alemania se aporta, además, una prima por el autoconsumo y en Bélgica se aplica un sistema híbrido de primas y certificados verdes.

En el caso de España la situación es un poco diferente. El autoconsumo está regulado con una normativa un poco dispersa. La ley regula las actividades destinadas al suministro de energía eléctrica, consistentes en su generación, transporte, distribución, servicios de recarga energética, comercialización e intercambios intracomunitarios e internacionales, así como la gestión económica y técnica del sistema eléctrico. La normativa sigue en la línea de establecer la obligatoriedad de inscribir las instalaciones de autoconsumo en el RAIPRE (Registro Administrativo de Instalaciones Productoras en Régimen Especial). Ello se realiza a través de los procedimientos establecidos por parte de las Comunidades Autónomas. Hay que destacar que se establece el derecho a inyectar energía eléctrica a la compañía distribuidora y percibir una retribución económica por la venta de la misma.

4.9. Barreras de la energía fotovoltaica

Las barreras de la energía fotovoltaica se han clasificado en cuatro grandes grupos:

a) Barreras económicas:

- Rentabilidad insuficiente por lo que se necesita una prima elevada.
- Falta de incentivos fiscales.

b) Barreras tecnológicas:

- Falta de iniciativas y de incentivos para el desarrollo de instalaciones innovadoras.

La situación actual del mercado y las actuales líneas de apoyo no presentan suficientes incentivos para llevar a cabo proyectos novedosos desde el punto de vista técnico, con integración arquitectónica, etc.



- Falta de materia prima en el mercado internacional

En los últimos años la industria fotovoltaica se ha estado abasteciendo de materias primas (silicio grado solar) que son subproductos o proceden de procesos compartidos con la industria electrónica. El incremento de ambos sectores está produciendo tensiones en los mercados, frente a las cuales la fotovoltaica puede verse perjudicada por su esquema económico de menor valor añadido.

Actualmente están apareciendo nuevas fábricas de silicio que abastecerán a la industria fotovoltaica.

c) Barreras normativas:

- Escasa adecuación administrativa en redes eléctricas

La energía solar fotovoltaica permite un alto grado de generación distribuida de la energía, pero serán necesarios cambios progresivos en las redes de distribución y transporte, evolucionando hacia “redes inteligentes” (smart grids) para que estas ventajas puedan aprovecharse y acoplarse a la demanda adecuadamente.

- Necesidad de revisar los reglamentos

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) [16] no define claramente las instrucciones a aplicar para las instalaciones solares fotovoltaicas.

Revisión del Código Técnico de la Edificación (CTE) [13]. El CTE ha supuesto un gran impulso a la integración arquitectónica de la tecnología fotovoltaica, sin embargo el rápido avance de esta tecnología hace necesario revisar su contribución en las próximas revisiones del CTE teniendo en cuenta las especiales características de la energía solar fotovoltaica.

Hay cierta dificultad para el autoconsumo de energía generada de manera distribuida. El autoconsumo de energía puede ser una de las principales vías de desarrollo de la tecnología, apoyado con mecanismos de compensación de saldos de energía o “balance neto”, pero actualmente la legislación en vigor no favorece este tipo de configuraciones cuando existen excedentes de energía.

d) Barreras sociales:

- Necesidad de difusión a usuarios potenciales

Aunque se ha avanzado bastante en los últimos años, existe todavía un gran desconocimiento entre los usuarios potenciales que en el caso de la energía solar fotovoltaica es el público en general.

- Necesidad de difusión y formación a Ayuntamientos

Los Ayuntamientos pueden ser uno de los principales impulsores de la energía solar fotovoltaica en el ámbito de sus competencias sobre el medio ambiente.

En relación con la fiscalidad por parte de los Ayuntamientos, si bien ha existido un desarrollo normativo, en la práctica la administración local no ha aplicado las diversas bonificaciones para las cuales se les ha habilitado.

Una de las razones de la falta de aplicación, además de su repercusión económica, ha sido el desconocimiento de la administración local.

Es necesario reforzar y promover que los Ayuntamientos pongan en práctica las posibilidades que ofrece la Ley de Haciendas Locales respecto a conceder mediante Ordenanzas fiscales, bonificaciones en el impuesto de construcciones, IBI e IAE. También es necesario completar la formación de técnicos municipales a la hora de analizar y verificar proyectos.

- Necesidad de difusión y formación a quienes prescriben (arquitectos, promotores...).

Estos colectivos, precisan de una difusión y formación específica ya que en muchos casos el plantear la energía fotovoltaica aparentemente supone introducir nuevas dificultades en los proyectos. El desconocimiento y la falta de herramientas para acometer las instalaciones puede ser el origen del rechazo.

Los diferentes agentes que intervienen en la financiación, diseño y construcción de un edificio no valoran adecuadamente los beneficios de la instalación de captadores solares, principalmente, por el desconocimiento de la tecnología y de las diferentes soluciones constructivas existentes. Para los arquitectos supone complicaciones y para el promotor supone un incremento de presupuesto y posible reducción de superficie edificable.

No se tiene en cuenta el ahorro energético para el usuario final y el impacto sociológico y educativo que conlleva la instalación de captadores fotovoltaicos en los edificios.

4.10. Normativa legal

La tecnología fotovoltaica, igual que cualquier otra tecnología de generación eléctrica, necesita de una regulación estable, predecible y a largo plazo, dado que se trata de proyectos con una vida útil de varias décadas. En el caso particular de las energías renovables esto cobra una mayor importancia dado que los costes variables son menores y es necesario realizar un gran desembolso inicial que, normalmente, debe ser financiado.

La inestabilidad regulatoria es un grave problema, no sólo porque ahuyenta a posibles inversores sino también porque dificulta las condiciones de financiación de aquellas empresas y particulares que sí deciden apostar por esta tecnología.

A continuación se recogen las principales leyes que regulan la generación fotovoltaica en nuestro país:

- Real Decreto-ley 2/2013 [3], de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.

Los principales efectos de las modificaciones en el Decreto Ley son:

- Supresión de la prima prevista en la normativa del sector eléctrico para aquellas instalaciones de régimen especial que vendan la energía producida en el mercado. Opciones de venta:
 - Cesión de la electricidad al sistema percibiendo una tarifa regulada
 - Venta de la electricidad en el mercado de producción de energía eléctrica sin complemento de prima.
 - Se sustituye el índice de actualización de los costes del sector eléctrico (retribuciones, tarifas y primas), pasando del Índice de Precios al Consumo a impuestos constantes sin alimentos no elaborados ni productos energéticos.
 - Se dejan sin efecto las comunicaciones de cambio de opción de venta de energía desde la opción a tarifa regulada a la opción de venta a mercado que a fecha de su entrada en vigor no se hayan producido.
-
- Informe 19/2013 [15] de la CNE sobre la propuesta de Real Decreto por el que se establece la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo de producción con autoconsumo. Borrador sobre los peajes de respaldo.
 - Ley 15/2012 [4], de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.
 - Real Decreto-ley 1/2012 [1], de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de pre asignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.
 - Real Decreto 1699/2011 [5], de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia:
 - Hay que tener en cuenta la conexión a red para instalaciones de pequeña potencia, sólo es posible proyectar instalaciones fotovoltaicas para autoconsumo de hasta 100 kW.

Este Real Decreto 1699/2011[5] hace referencia a la necesidad de su conexión en red interior, y contar con los contadores bidireccionales.

- Real Decreto-ley 14/2010 [6], de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico.

- Real Decreto 1565/2010 [7], de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
 - Real Decreto-ley 6/2009 [8], de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.
 - Real Decreto 1578/2008 [9], de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica.
 - Real Decreto 661/2007 [10], de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- En esta línea el artículo 9 establece la obligatoriedad de inscribir las instalaciones de autoconsumo en el RAIPRE (Registro Administrativo de Instalaciones Productoras en Régimen Especial). Ello se realiza a través de los procedimientos establecidos por parte de las Comunidades Autónomas.

Asimismo cabe destacar su artículo 17 que establece el derecho a inyectar energía eléctrica a la compañía distribuidora y percibir una retribución económica por la venta de la misma.

Y finalmente de este Real Decreto 661/2007 [10], destacaría su artículo 24 que establece los mecanismos posibles de venta.

4.10.1. Real Decreto de Autoconsumo de energía eléctrica fotovoltaica

El artículo 9 de la Ley 24/2013 [11], de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, establece que:

1. A los efectos de esta ley, se entenderá por autoconsumo el consumo de energía eléctrica proveniente de instalaciones de generación conectadas en el interior de una red de un consumidor o a través de una línea directa de energía eléctrica asociadas a un consumidor.

Se distinguen las siguientes modalidades de autoconsumo:

a) *Modalidades de suministro con autoconsumo.* Cuando se trate de un consumidor que dispusiera de una instalación de generación, destinada al consumo propio, conectada en el interior de la red de su punto de suministro y que no estuviera dada de alta en el correspondiente registro como instalación de producción. En este caso existirá un sujeto: el sujeto consumidor.

b) *Modalidades de producción con autoconsumo.* Cuando se trate de un consumidor asociado a una instalación de producción debidamente inscrita en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica conectada en el

interior de su red. En este caso existirán dos sujetos: el sujeto consumidor y el productor.

c) *Modalidades de producción con autoconsumo de un consumidor conectado a través de una línea directa con una instalación de producción.* Cuando se trate de un consumidor asociado a una instalación de producción debidamente inscrita en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica a la que estuviera conectado a través de una línea directa. En este caso existirán dos sujetos: el sujeto consumidor y el productor.

d) *Cualquier otra modalidad de consumo de energía eléctrica proveniente de una instalación de generación de energía eléctrica asociada a un consumidor.*

2. En el caso en que la instalación de producción de energía eléctrica o de consumo esté conectada total o parcialmente al sistema eléctrico, los titulares de ambas estarán sujetos a las obligaciones y derechos previstos en la presente ley y en su normativa de desarrollo.

3. Todos los consumidores sujetos a cualquier modalidad de autoconsumo tendrán la obligación de contribuir a los costes y servicios del sistema por la energía auto consumida, cuando la instalación de generación o de consumo esté conectada total o parcialmente al sistema eléctrico.

Para ello estarán obligados a pagar:

- los mismos peajes de acceso a las redes,
- cargos asociados a los costes del sistema
- costes para la provisión de los servicios de respaldo del sistema que correspondan a un consumidor no sujeto a ninguna de las modalidades de autoconsumo descritas en el apartado anterior.

El Gobierno podrá establecer reglamentariamente reducciones en dichos peajes, cargos y costes en los sistemas no peninsulares, cuando las modalidades de autoconsumo supongan una reducción de los costes de dichos sistemas.

4. Los consumidores acogidos a las modalidades de autoconsumo de energía eléctrica tendrán la obligación de inscribirse en el registro administrativo de autoconsumo de energía eléctrica, creado a tal efecto en el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

Reglamentariamente, previa audiencia de las Comunidades Autónomas y Ciudades de Ceuta y Melilla, se establecerá por el Gobierno la organización, así como el procedimiento de inscripción y comunicación de datos al registro administrativo de autoconsumo de energía eléctrica.

5. El Gobierno establecerá las condiciones administrativas y técnicas para la conexión a la red de las instalaciones con autoconsumo.

Asimismo el Gobierno establecerá las condiciones económicas para que las instalaciones de la modalidad b) de producción con autoconsumo vendan al sistema la energía no autoconsumida.

En la siguiente figura 4.5. se observa un esquema de autoconsumo fotovoltaico.

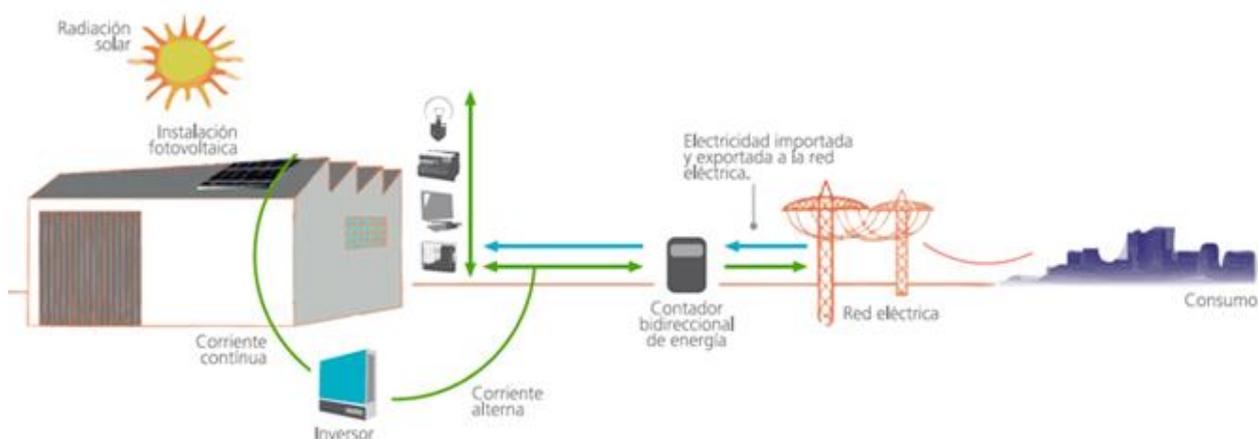


Figura 4.5. Autoconsumo fotovoltaico

4.10.2. Borrador sobre los peajes de respaldo

Cabe destacar, en concreto, el borrador sobre los nuevos peajes de respaldo, de los cuales se está comentando desde julio de 2013. El Ministerio de Industria quiere cargar con dicho peajes de respaldo a los usuarios con autoconsumo conectados a la red que generen la electricidad para uso propio según consta en el Real Decreto que regula esta actividad.

El autoconsumidor pagará este nuevo peaje por la electricidad que produzca para su propio consumo. Cuando la vierta a la red, deberá pagar el peaje a la generación, mientras que para la electricidad que consuma desde la red, una vez calculados los saldos netos, pagará el habitual peaje de acceso.

El nuevo "peaje de respaldo" se aplica con el argumento de que, desde el momento en el que el autoconsumidor está conectado al sistema eléctrico, está disfrutando del respaldo que le ofrece el conjunto de la infraestructura, "aun cuando esté consumiendo electricidad producida por su instalación de generación asociada".

Mediante este "peaje de respaldo", los autoconsumidores tendrán que hacer frente, "al igual que el resto de los consumidores, a los costes del sistema eléctrico, incluyendo aquellos necesarios para financiar las tecnologías de respaldo", como indica la norma.

En la memoria del Real Decreto, se explica que esta nueva carga irá destinada tanto a contribuir a la cobertura de los costes del sistema, como hace el resto de los consumidores, como "a retribuir la función de respaldo que requiere el sistema para garantizar el balance entre generación y demanda en tiempo real".

El nuevo peaje de respaldo se calculará teniendo en cuenta el término variable de los peajes de acceso, el valor de los pagos por capacidad que le corresponda y el precio estimado de los servicios de ajuste.

Industria ofrece en el real decreto un cuadro con los distintos importes del peaje, que van de los 0,04 euros por kilovatio hora (kWh) a los 0,089 euros para potencias inferiores a los 10 kilovatios (10kW).

En todo caso, todavía no se sabe concretamente cuando será el impuesto definitivo, el Ministerio de Industria irá determinando la cuantía de este peaje, y los ingresos que se obtengan se trasladarán a las liquidaciones de los costes e ingresos del sistema eléctrico. Con el objeto de desarrollar distintas modalidades de autoconsumo, se podrán aprobar reducciones temporales de estos peajes.

La norma también establece que el consumidor en régimen de autoconsumo y el productor de electricidad deben ser la misma persona física o jurídica, al tiempo que sólo se podrá usar una tecnología, aunque sea en distintas instalaciones, por cada referencia catastral.

Esto supone que no podrá ser compatible tener una placa solar fotovoltaica como otras modalidades, como la solar térmica, la geotermia, la eólica y, según la lista ofrecida por Industria, la energía de las olas, de las mareas, de las rocas calientes, la oceanotérmica o la de las corrientes marinas.

5. DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO DE ACTUACIÓN

5.1. Introducción

El presente proyecto trata de un caso práctico de una empresa real del sector logístico para estudiar la viabilidad técnica, económica y medioambiental de la implantación de lonas fotovoltaicas sobre las cubiertas de las naves industriales. Para ello se va a calcular el orden de magnitud que supondría convertir todas las cubiertas industriales en cubiertas activas en cuanto a generación de energía eléctrica, y comparar estos resultados con el consumo real de dichas naves. La empresa objeto, CIMALSA, tiene naves repartidas en diferentes polígonos de Cataluña.

5.2. Empresa logística

CIMALSA es una empresa pública de la Generalitat de Cataluña encargada de la promoción, el desarrollo y la gestión de infraestructuras y centrales para el transporte

de mercancías y logística. Tiene como misión ofrecer a los sectores del transporte y la logística los mejores recursos para su competencia.

La voluntad de CIMALSA es la de sumar su aportación a las demás infraestructuras con la participación pública en Cataluña, como la red de carreteras, los puertos, las zonas de actividades logísticas, los aeropuertos o los ferrocarriles.

En CIMALSA se diseñan sus propios centros específicamente para las actividades logísticas y de transporte, ofreciendo los máximos estándares de accesibilidad, calidad y servicios tanto de las empresas como de los trabajadores.

La actuación de la empresa incide sobre la sociedad y el medio ambiente. Los centros logísticos tienen una contribución positiva en la economía del territorio y favorecen el transporte de mercancías de manera que sea más eficiente y sostenible. A su vez, estos centros logísticos comportan impactos territoriales o ambientales los cuales hay que minimizar al máximo.

5.2.1. Centros

La presencia de la empresa CIMALSA se encuentra repartida por toda Cataluña:

-CIM Vallès: se encuentra en el área metropolitana de Barcelona. Ocupa una superficie bruta de 44,2 hectáreas y acoge a 80 empresas.

- CIM Lleida: situado en la zona industrial de Lleida. Ocupa una superficie bruta de 42 hectáreas y acoge a 36 empresas.

- CIM la Selva: se encuentra en la provincia de Girona. Ocupa una superficie bruta de 22,5 hectáreas y acoge a 15 empresas.

- CIM el Camp: situado en la provincia de Tarragona. Ocupa una superficie de 42,2 hectáreas y tiene el proyecto de ampliar unas 39 hectáreas más.

- LOGIS Bages: plataforma logística de distribución situada en Barcelona. Consta de una superficie de 8,7 hectáreas y actualmente hay tres empresas instaladas.

- LOGIS Empordà; centro de logística y distribución localizado en el municipio de l'Empordà (Girona). Tiene una superficie bruta de 73 hectáreas de las cuales 22 están urbanizadas.

Hay una serie de proyectos en marcha como es la ampliación de CIM el Camp y los centros LOGIS Intermodal el Far d'Empordà-Vilamalla, Intermodal Penedès y Intermodal Montblanc.

El presente proyecto está centrado en los polígonos en los que se encuentra CIM Lleida y CIM el Camp.

5.2.2. Situación y climatología de la zona

España es un país con una elevada radiación solar comparándolo con otros países de la Unión Europea, pero dentro de España hay variaciones de dicha radiación solar, en la figura 5.1. se muestran las diferentes zonas.

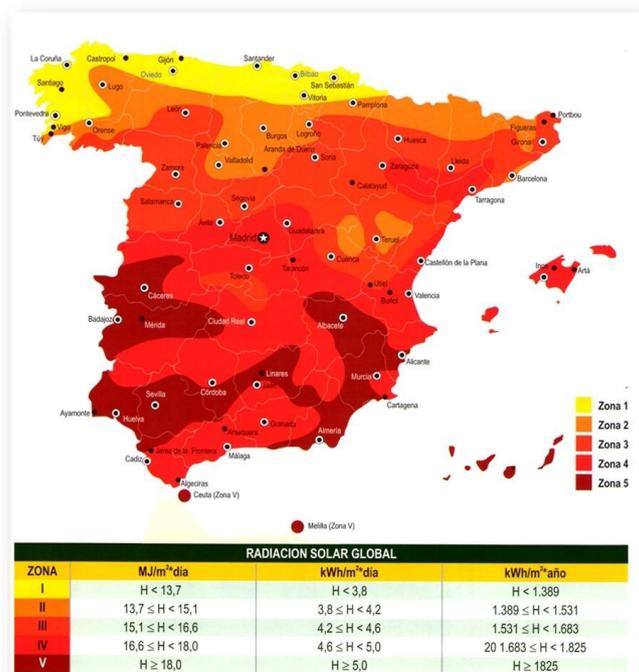


Figura 5.1. Radiación solar España

En las figuras 5.2 y 5.3 se presenta la localización de las plantas industriales, una de ellas en la provincia de Lleida y la otra en la de Tarragona.

- CIM Lleida

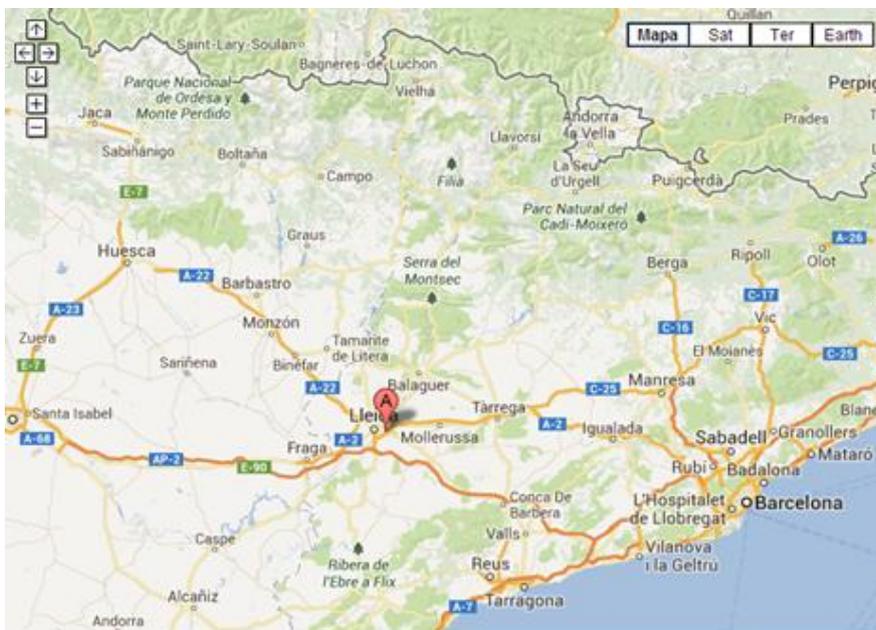


Figura 5.2. Situación geográfica de Lleida

- Coordenadas geográficas de localización: longitud este 0° 41' 0.05192" latitud norte 41° 36' 52.87092".
- Climatología de la zona: Lleida tiene un clima mediterráneo árido con tendencia continental, que es el propio del Valle del Ebro. Los inviernos son húmedos y muy fríos y los veranos cálidos. El promedio de precipitación anual es bastante escaso, de unos 375 mm, con máximos en primavera y sequía estival. No es extraño que a lo largo del año puedan registrarse temperaturas de algunos grados centígrados bajo cero en invierno y de hasta 40 °C en verano.

Lleida pertenece a la zona III de radiación solar global:

15, 1≤H<16, 6 MJ/m²día

4, 2≤H<4, 6 kWh/m²día

1,531≤H<1,683 kWh/m²año

- CIM El Camp (Reus, Tarragona)



Figura 5.3. Situación geográfica de Reus

- Coordenadas geográficas de localización: longitud este 1° 11' 0.15937" latitud norte 41° 8' 1.50669".
- Climatología de la zona: Tarragona disfruta de un clima Mediterráneo típico. La temperatura media anual supera ligeramente los 16°C y la precipitación apenas alcanza los 500 mm. Los inviernos son suaves y los veranos, calurosos. Las precipitaciones son irregulares, tanto dentro de un mismo año como entre diferentes años si bien se observa un patrón según el cual la estación más seca suele ser el verano, seguido del invierno.

Tarragona pertenece a la zona IV de radiación solar global:

$$16,6 \leq H < 18,0 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$$

$$4,6 \leq H < 5,0 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$$

$$1,683 \leq H < 1,825 \text{ kWh/m}^2 \text{ año}$$

6. TECNOLOGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

6.1. Consideraciones previas de diseño

Como se ha expuesto con anterioridad, el marco de aplicación para el estudio energético considerado se centrará en las provincias de Lleida y Tarragona, concretamente en los polígonos industriales dónde se encuentra la empresa CIMALSA (CIM Lleida y CIM el Camp).

Hoy en día las cubiertas tienen otras aplicaciones de gran relevancia además de su función principal como por ejemplo:

1. Instalaciones y equipos de climatización, ventilación o renovación del aire.
2. Instalaciones de antenas para televisión, teléfono, etc.
3. Canaletas o canalones de aguas pluviales o precipitaciones en forma de nieve.
4. Conductos de ventilación como chimeneas.

Estas aplicaciones necesitan ocupar un espacio en la cubierta dedicado a pasillos y áreas de trabajo para acceder a los diferentes equipos con el fin de realizar el servicio de mantenimiento que las instalaciones requieren.

De esta manera se ocupa un espacio que no puede formar parte de la superficie disponible para la captación de energía solar y debe quedar excluido de la totalidad de la superficie de la cubierta. Se ha valorado este espacio ocupado como un porcentaje respecto a la superficie total de cada polígono, siendo éste de un 5%.

Información de los polígonos a continuación en la tabla 6.1.:

Polígono	CIM Lleida	CIM El Camp
Municipio	Lleida	Reus
Dirección	Salida de la AP-2 en la N-240 y en la A-2	Salida de la AP-7 y con acceso directo a la A-7 y a la T-11
Cubierta total	168.802 m ²	102.193 m ²
Cubierta urbanística	135.042 m ²	91.974 m ²

Tabla 6.1. Situación y superficie de cubierta de los polígonos

Desde CIMALSA se ha proporcionado la información referente a las parcelas, potencia y energía consumida en cada una de ellas como se muestra en las tablas 6.2. y 6.3.

- CIM Lleida:

Parcelas	m ² totales	m ² con reducción del 20%	Potencia consumida (W)	Energía consumida (kWh/año)
P1	23.983	19.186	767.456	2.240.972
P4	17.805	14.244	569.760	1.663.699
P5	9.948	7.958	318.336	929.541
P6	11.598	9.278	371.136	1.083.717
P7	36.318	29.054	1.162.176	3.393.554
P8	30.441	24.353	974.112	2.844.407
P9	16.310	13.048	521.920	1.524.006



P10	22.399	17.919	716.768	2.092.963
TOTAL	168.802	135.042	5.401.664	15.772.859

Tabla 6.2. Superficie de cubierta de las naves de CIM Lleida

- CIM El Camp

Parcelas	m ² real	m ² con reducción del 10%	Potencia consumida (W)	Energía consumida (kWh/año)
P1	15.453	13.908	556.308	1.624.419
P7	19.303	17.373	694.908	2.029.131
P8	15.591	14.032	561.276	1.638.926
P9	16.273	14.646	585.828	1.710.618
P14	35.573	32.016	1.280.628	3.739.434
TOTAL	102.193	91.974	3.678.948	10.742.528

Tabla 6.3. Superficie de cubierta de las naves de CIM El Camp

Otro aspecto importante a considerar tiene que ver con la orientación de la superficie total considerada en relación al sistema de coordenadas y el ángulo de inclinación respecto a la horizontal. Tanto la orientación de la nave como la propia forma de las cubiertas condicionan este sentido. En base a estos dos factores de orientación e inclinación de los paneles se considera en ambos casos una orientación al sur e inclinación de 35°, valor extraído de la aplicación de la Comisión Europea:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

6.2. Sistema fotovoltaico solución

El sistema fotovoltaico solución consiste en un producto de capa fina. Se han considerado las ventajas mencionadas anteriormente, las mejoras a nivel energético y el aprovechamiento de espacio. Además este sistema conlleva un coste de mantenimiento muy bajo, casi nulo.

De entre los diferentes productos de capa fina se han escogido las lonas fotovoltaicas las cuales se instalarían en las cubiertas de las naves industriales donde además de ser una modalidad atractiva, puede aprovechar una superficie sin ningún uso.

Dicho sistema solución puede ser de gran interés para:

- Propietarios de naves industriales en zonas de alta radiación térmica que tengan una captación mínima en cubierta y puedan aprovecharla para la producción de energía limpia. Este sistema supondría un ahorro en su factura eléctrica.

- Promotores y empresas constructoras de naves industriales que pueden distinguirse de la competencia con una idea moderna, rentable y eficiente.
- Particulares con conciencia ecológica e interés por las inversiones en energías renovables.

6.3. Componentes

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la luz en electricidad y lo hacen de manera no contaminante y silenciosa. Esta conversión se consigue por medio de los módulos fotovoltaicos, que están formados por células fabricadas principalmente de silicio.

Cuando el silicio se contamina o topa con otros materiales de ciertas características adquiere propiedades eléctricas en presencia de luz solar. Los fotones son activados por la luz y se mueven a través del silicio. Esto es conocido como el efecto fotovoltaico, gracias al cual se produce directamente la electricidad.

Las placas flexibles y ligeras de silicio amorfo se conectan a un sistema de baterías para almacenar la energía o a inversores para convertir la corriente continua en alterna y suministrarla a la red. A diferencia de los módulos fotovoltaicos convencionales, las placas de capa delgada no contienen vidrio, aspecto muy importante dado que simplifica tanto la instalación en las cubiertas como las acciones de mantenimiento que se deben llevar a cabo. A continuación se muestra la figura 6.1. en la que se pueden observar la composición de una lona fotovoltaica.



Figura 6.1. Composición de una lona fotovoltaica

6.3.1. Lonas fotovoltaicas

El diseño de la instalación en cubiertas con lonas fotovoltaicas se hace de cómo máximo 100kW de potencia, ya que es la máxima potencia permitida para poder conectarse a la red en regulación al balance neto.

Se han escogido dos productos de capa fina que ofrecen diferentes empresas existentes en el mercado para hacer una comparativa entre ellos.

- Presentación del producto 1: PVL-144Wp

El nombre del producto es MODULO TZ-SOL PLATE del grupo Unipolar y se ha desarrollado junto con UNI-SOLAR, incorpora módulos de capa fina para la producción de energía solar fotovoltaica.

La empresa Grupo Unipolar fabrica módulos PV a-Si y captadores solares Térmicos. Los productos de FV UNI-SOLAR son soluciones de láminas flexibles FV para la integración en edificaciones. Los laminados FV flexibles UNI-SOLAR pueden pegarse en cubiertas metálicas convencionales, membranas monocapa, en cubiertas de tela asfáltica y otros tipos de cubiertas. Los módulos resultantes tienen una duración excepcional.

La figura 6.2 muestra una lámina de PVL-144:

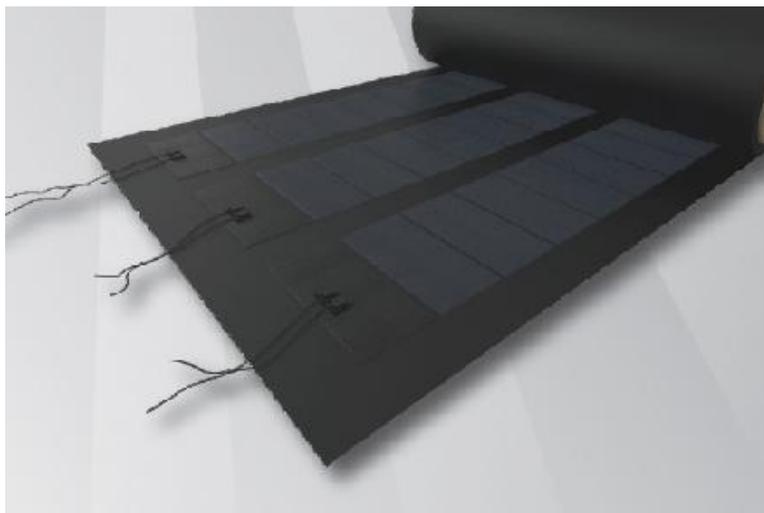


Figura 6.2. Lona fotovoltaica de 144Wp

Este producto admite cuatro modalidades para instalaciones ≤ 100 kW:

- Instalación de P=100 kW para una superficie mínima de 3.700m².
- Instalación de P=100 kW para una superficie mínima de 1.850m².
- Instalación de P=100 kW para una superficie mínima de 925m².
- Instalación de P=100 kW para una superficie mínima de 370m².

- Presentación del producto 2

El producto 2 (ver Fig. 6.3.) es de la marca JHRoerfen es un panel fotovoltaico fabricado por la casa UNI-SOLAR.

Las láminas fotovoltaicas de la serie PVL cuyo modelo es PVL-136 tienen unas mejoras en el rendimiento energético incluso a altas temperaturas y baja radiación.

El producto está compuesto por un rollo de caucho con 22 células solares “Triple Junction” de silicio amorfo conectadas en serie. Sus dimensiones son 5,486 m de longitud, 0,394 m de ancho y 2,5 mm de grosor.

Dicho producto está diseñado para instalaciones sobre cubiertas nuevas o clasificadas como nuevas.

Características principales del producto:

- Láminas: PVL-136.
- Perfil de chapa de acero revestido con PVDF
- Inclinación mínima 5° y máxima de 60°.

Este producto admite dos modalidades de instalación para instalaciones de $\leq 100\text{kW}$:

- Instalación de $P=100\text{kW}$ para una superficie mínima de 2.500m^2 .
- Instalación de $P=100\text{ kW}$ para una superficie mínima de 400m^2 .

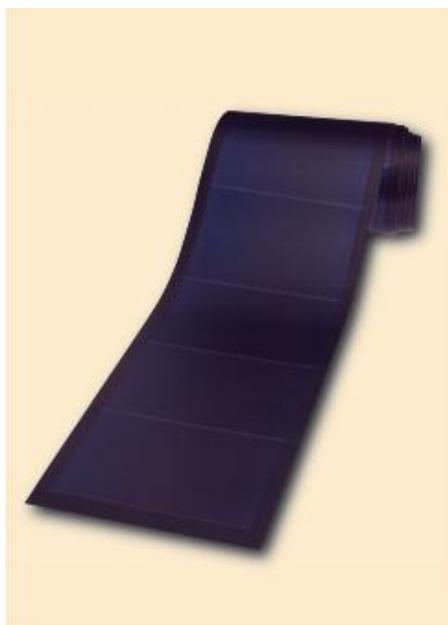


Figura 6.3. Lona fotovoltaica de 136Wp

En la tabla 6.4., a continuación, aparece el resumen de los productos elegidos:

PRODUCTO	Láminas UNI- SOLAR	Combinación y potencia	Superficie por unidad de producto	Inst100kW	Precio por módulo/rollo (€)
PRODUCTO 1 PVL-144	PVL-144	3x144=423Wp	6,98 m ²	Sup. mínima 3.700m ²	250€/rollo
PRODUCTO 2 PVL-136	PVL-136	3x136=408Wp	8,47m ²	Sup. mínima 2.500m ²	262€/rollo

Tabla 6.4. Tabla resumen de los productos elegidos



Fig. 6.4. Imagen de una cubierta con lonas fotovoltaicas

En la figura 6.4. se muestra una cubierta de una nave industrial con lonas fotovoltaicas.

6.3.2. Inversores

El inversor es un componente esencial en una instalación eléctrica, es un dispositivo que necesita la red eléctrica para su funcionamiento. Su función principal es convertir corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) para inyección a red. Además, debe ajustar el punto de funcionamiento del campo solar (regulación MPP9, almacenar y registrar los datos de producción y funcionamiento y sincronizar con la red eléctrica.

Dicho dispositivo debe seguir la normativa RD1699 que hace referencia a instalaciones de régimen ordinario y régimen especial de potencia no superior a 100kW. De la normativa destacan los diferentes aspectos:

- a) Cuando se conecten a las líneas de tensión no superior a 1kV de la empresa distribuidora, bien directamente o a través de una red interior de un consumidor.
- b) Cuando se conecten al lado de baja de un transformador de una red interior, a una tensión inferior a 1kV, de un consumidor conectado a la red de distribución

y siempre que la potencia instalada de generación conectada a la red interior no supere los 100kW.

- Artículo 12. Condiciones de conexión.

Si la potencia nominal de la instalación de generación a conectar a la red de distribución es superior a 5kW, la conexión de la instalación a la red será trifásica con un desequilibrio entre fases inferior a 5kW.

- Artículo 12. Condiciones específicas para la conexión en redes interiores. (inversores trifásicos)

La conexión se realizara, en el punto de la red interior de su titularidad más cercano a la caja general de protección, de tal forma que permita aislar simultáneamente ambas instalaciones del sistema eléctrico.

- Artículo 14. Protecciones

Entre las protecciones que desarrolla el inversor, destacan las siguientes (ver Fig. 6.4.):

- Transformador de AC de aislamiento galvánico en su interior.
- Interruptor automático de la interconexión para la desconexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, protección anti-isla.
- Protecciones de la conexión máxima y mínima frecuencia (51Hz y 49Hz con una temporización máxima de 0.5 y de 3 segundos respectivamente) y máxima y mínima tensión entre fases (1,1Um y 0,85Um) como se recoge en la tabla:

Parámetro	Umbral de protección	Tiempo máximo de actuación
Sobretensión –fase 1.	$U_n + 10\%$	1,5 s
Sobretensión – fase 2.	$U_n + 15\%$	0,2 s
Tensión mínima.	$U_n - 15\%$	1,5 s
Frecuencia máxima.	50,5 Hz	0,5 s
Frecuencia mínima.	48 Hz	3 s

Figura 6.4. Protecciones de tensión

- Rearme automático de la conexión con la red de baja tensión de la instalación fotovoltaica una vez restablecida la tensión de red por la empresa distribuidora.
- Artículo 15. Condiciones de puesta a tierra de las instalaciones.

La instalación deberá disponer de una separación galvánica entre la red de distribución y las instalaciones generadoras, bien sea por medio de un transformador de aislamiento o cualquier otro medio que cumpla las mismas funciones de acuerdo con la reglamentación de seguridad y calidad industrial aplicable.

Se debe evitar la inyección de corriente continua en la red. Si el inversor utilizado es con transformador de alta frecuencia o sin transformador se deberá demostrar que la

corriente continua inyectada a red por el inversor no supera el 0,5% de la corriente nominal.

El modelo de equipo inversor elegido con los objetivos marcados anteriormente ha sido el SC 100 (Outdoor) de la marca SMA, los datos aparecen en la tabla 6.5.. Este equipo está diseñado para la conexión de las instalaciones fotovoltaicas a la red eléctrica sin la necesidad de incorporar un transformador de aislamiento adicional.

DATOS DEL INVERSOR		
Fabricante	INGECON	
Modelo	10TL	
Características eléctricas	Valor	Unidad
Valores de entrada (DC)		
Rango de potencia campo FV recomendado	11,4-12,9	kWp
Rango de tensión MPP	155-450	V
Rango de tensión DC	125-550	V
Corriente máxima DC por MPPT	22	A
nº entradas DC	12	
MPPT	3	
Valores de salida (AC)		
Potencia nominal	11	kW
Corriente máxima AC	17	A
Tensión nominal AC	400	V
Frecuencia nominal AC	50/60	Hz
Coseno phi	1	
THD	<3	%
Rendimiento		
Eficacia máxima	96,8	%
Euroeficiencia	95,2	%

Datos generales		
Refrigeración por aire	234	m ³ /h
Consumo en stand-by	<30	W
Consumo nocturno	0	W
Temperatura de funcionamiento	(-20, 70)	°C
Humedad relativa (sin condensación)	0-95	%

Tabla 6.5. Datos del inversor

El inversor estará situado en intemperie próximo a su instalación ya que presenta un grado de protección IP-65.

Dimensiones y peso: 644x280x668 mm (longitud x grosor x altura)

56 Kg

6.3.1. Otros componentes

Cable de conexionado:

Es el componente indispensable para el transporte de energía eléctrica entre los diferentes bloques del sistema fotovoltaico.

Es inevitable que ocurra la pérdida de energía en forma de calor, debido a que la resistencia eléctrica del conductor nunca es nula. La elección de un cable conductor representa un compromiso entre un valor bajo de resistencia y el coste del mismo.

Dentro de la gama de materiales existentes, el cobre presenta una buena solución, al ser un material ligero, lo que favorece su empleo en líneas de transmisión de energía eléctrica.

Se debe dimensionar el cableado de forma correcta teniendo en cuenta los criterios de intensidad máxima admisible y de caída de tensiones.

Sistema de medición

Cuando existen consumos eléctricos, estos deberán ubicarse en circuitos independientes de la instalación fotovoltaica y de sus respectivos equipos de medición. La medida de tales consumos se realizara de manera independiente, normalmente se gestiona a través de los contadores de energía que instala la propia compañía eléctrica.

El contador de salida tendrá capacidad de medir en ambos sentidos, la energía eléctrica que el titular de la instalación facturara a la empresa distribuidora, será la diferencia entre la energía eléctrica de salida menos la de entrada a la instalación fotovoltaica.

Todos los elementos de medida, serán precintados por la empresa distribuidora, y sólo se podrán abrir los precintos de seguridad con el consentimiento de la misma; no obstante en caso de peligro pueden retirarse los precintos sin el consentimiento expreso de la empresa distribuidora.

6.4. Potencia y diseño de la instalación

El proyecto se basa en la captación de energía solar en dos polígonos industriales situados en Lleida y en Reus (Tarragona).

El sistema de captación elegido hay sido laminados fotovoltaicos o lonas de silicio amorfo que con sus particularidades y características propias de ese material, se han considerado las siguientes modalidades de inversión/instalación en función de la superficie mínima disponible:

- a) Para el producto 1 (Módulos TZ-SOL PLATEW PVL-144) :
 - a. Instalación de P=100 kW para una superficie mínima de 3.700m².
- b) Para el producto 2 (Módulos JHROerfen UNISOLAR PVL-136):
 - a. Instalación de P=100 kW para una superficie mínima de 2.500m².

En cuanto a criterios que hay que tener en cuenta:

- Instalaciones modulares: las instalaciones estarán compuestas por unos, dos, tres, cinco y/o diez ramales independientes (en paralelo), uno por cada equipo inversor, con el objetivo de aumentar la fiabilidad de la planta y reducir las pérdidas en caso de averías o servicios de mantenimiento. De este modo, en el momento en que deban llevarse a cabo operaciones de reparación y mantenimiento, solo se deberá desconectar el ramal afectado incidiendo así solo en un porcentaje pequeño en relación a la totalidad de la generación de energía eléctrica.
- Cumplimiento de los parámetros de entrada a los inversores, optimizando su uso: esto se va a conseguir diseñando una configuración serie-paralelo de los laminados fotovoltaicos de forma que se cumplan las restricciones de tensión, intensidad y potencia de los inversores.
- Ramales equilibrados entre sí: esto se va a conseguir haciendo que todos los ramales estén conformados por el mismo número de paneles e igual distribución serie-paralelo.

A partir de las consideraciones previas y criterios de diseño, se va a presentar la tabla resumen 6.6. de las instalaciones que componen el sistema solución en cada planta:

Tipo de módulo	Polígono	NºInst100kW	Potencia Instalada (kW)
Producto 1 PVL-144	CIM Lleida	34	3.400
	CIM El Camp	23	2.300
Producto 2 PVL-136	CIM Lleida	52	5.200
	CIM El Camp	35	3.500

Tabla 6.6. Tabla resumen de las instalaciones en cada uno de los polígonos

En el diseño de la instalación uno de los primeros pasos es elegir el número de inversores necesario.

Instalación 100 kW → 10 inversores de 10 kW.

A la hora de diseñar la instalación, se va a empezar por el número de paneles y su conexionado, en serie y en paralelo, para obtener el generador fotovoltaico con la potencia aproximada que interesa, en este caso 100 kW que es a su vez la que permite el inversor seleccionado.

Uno de los factores importantes a tener en cuenta son las constantes de temperatura. Estas, indican la variación de la corriente de cortocircuito (I_{cc}), de la tensión en circuito abierto (V_{ac}) y de la potencia (P) que sufre la lona en función de la temperatura que adquiere. Teniendo en cuenta los valores constantes de las especificaciones técnicas en cada tipo de lona (ver tabla 6.7. y 6.8.):

VALORES A 25°C			
		PVL-144	PVL-136
Tensión a máx. potencia	$V_{pmp}(V)$	33	33
Intensidad a máx. potencia	$I_{pmp}(A)$	4,36	4,1
Tensión circuito abierto	$V_{ca}(V)$	46,2	46,2
Intensidad corto circuito	$I_{cc}(A)$	5,3	5,1
Potencia nominal	$P(W)$	144	136

Tabla 6.7. Especificaciones técnicas de los dos tipos de lonas

Constantes de Temperatura	PVL-144	PVL-136
$T_k(V_{ca})$	-0,38%/°C	-0,38%/°C
$T_k(I_{cc})$	0,10%/°C	0,10%/°C
$T_k(P)$	-0,21%/°C	-0,21%/°C

Tabla 6.8. Constantes de temperatura de las lonas

Es importante aclarar la forma en la que el fabricante de lonas obtiene estos valores que son los que luego constan en la hoja de garantía de la misma. Una vez fabricada la lona, esta se somete, durante unas décimas de segundo, a un flash de luz blanca de exactamente 100 W/m², perpendicular a la lona, y a una temperatura de 25°C. Los valores de arriba mostrados son los obtenidos con esta prueba. Difícilmente se darán estas condiciones de potencia de la radiación solar y a esa temperatura. En días de atmosfera extremadamente limpia podría llegarse a valores próximos a esa potencia, pero esos días solo se puede dar durante el invierno, principalmente en diciembre y enero, donde la temperatura no será de 25°C y difícilmente se estaría con una inclinación de lona perpendicular a los rayos solares.

Las constantes de temperatura indican las variaciones de la tensión en circuito abierto (V_{ca}), la intensidad en corto circuito (I_{cc}) y la potencia (P) que experimenta la lona en función de la temperatura. Sin estas constantes sería imposible dimensionar el generador correctamente. Por ello, aplicando las siguientes ecuaciones se contempla la variación de dichos parámetros en función de la temperatura.

$$V_{Treal} = V_{25^{\circ}C} + \frac{T_{K(Vca)} \times (T_{real} - 25^{\circ}C)}{1000} \quad (\text{Ec. 6.1})$$

$$I_{Treal} = I_{25^{\circ}C} \times \left(1 + \frac{T_{K(Icc)} \times (T_{real} - 25^{\circ}C)}{1000} \right) \quad (\text{Ec. 6.2})$$

$$P_{Treal} = P_{25^{\circ}C} \times \left(1 + \frac{T_{K(P)} \times (T_{real} - 25^{\circ}C)}{1000} \right) \quad (\text{Ec. 6.3})$$

Las constantes de temperatura se dan para circuito abierto y para cortocircuito, pues son los valores críticos con los que se realizan los cálculos. Sin embargo también son validas y se pueden aplicar para el funcionamiento en máxima potencia V_{pmp} e I_{pmp} .

La situación geográfica donde se encuentran las empresas en las que se realizaran las instalaciones fotovoltaicas, en Tarragona y en Lleida, se considera que la temperatura que pueden alcanzar las células de captación oscila entre -10°C y 70°C como valores extremos. Tomando estas temperaturas y aplicando las fórmulas anteriores se pueden calcular las características de la lona para las situaciones extremas de las temperaturas consideradas.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla 6.9.:

	PVL-144			PVL-136		
	Valor nominal 25°C	-10°C	70°C	Valor nominal 25°C	-10°C	70°C
$V_{pmp}(V)$	33	33,01	32,98	33	33,01	32,98
$I_{pmp}(A)$	4,36	----	----	4,1	----	----
$V_{ca}(V)$	46,21	46,21	46,18	46,21	46,21	46,18
$I_{cc}(A)$	5,31	5,28	5,32	5,10	5,08	5,12
$P(W)$	144	145,06	142,64	136	136,99	134,71

Tabla 6.9. Resultados de las variaciones de parámetros según temperatura

Para dimensionar el generador hay que seguir una serie de criterios:

- El inversor trabaja entre unos valores de tensión de entrada mínimo y máximo.
- Se debe intentar acercar lo más posible al valor máximo de tensión para obtener el mayor rendimiento del inversor.
- Se pone el número máximo de ramas en paralelo que pueda aguantar el inversor teniendo en cuenta no sobrepasar la potencia máxima que este admite.
- Hay que intentar alejarse del valor mínimo de tensión de entrada en el inversor.
- Para saber el número máximo de módulos que se pueden colocar hay que tener en cuenta dos casos:

Caso 1: dividir la tensión máxima de entrada que soporta el inversor entre la tensión de circuito abierto de la lona a la temperatura de -10°C, ya que a esta temperatura el valor de la tensión es mayor.

$$N^{\circ}_{m\acute{a}x.serie1} = \frac{V_{ccm\acute{a}x}}{V_{ca(-10^{\circ}C)}} \quad (\text{Ec. 6.4})$$

Caso 2: dividir el valor máximo del rango de tensiones en el punto de máxima potencia del inversor entre la tensión en el punto de máxima potencia de la lona a -10°C, ya que a esta temperatura el valor de la tensión es mayor.

$$N^{\circ}_{m\acute{a}x.serie2} = \frac{VFV_{sup}}{V_{pmp(-10^{\circ}C)}} \quad (\text{Ec. 6.5})$$

Para conseguir el valor máximo, se ha de escoger el valor más pequeño entre el número máximo de módulos que puede admitir el inversor considerando siempre su tensión máxima de entrada, o también considerando el valor máximo de su rango de tensiones en el punto de máxima potencia.

$$MIN\left\{\frac{V_{cc\ máx}}{V_{ca(-10^{\circ}C)}}, \frac{VFV_{sup}}{V_{pmp(-10^{\circ}C)}}\right\} \quad (\text{Ec. 6.6})$$

Para saber el número mínimo de módulos que hay que poner, se divide la tensión mínima de entrada al inversor por la tensión en máxima potencia a 70°C, ya que es el valor de temperatura que toma mínima tensión:

$$N^{\circ\ mín\ serie} = \frac{VFV_{inf}}{V_{pmp(+70^{\circ}C)}} \quad (\text{Ec. 6.7})$$

Respecto al número de ramas a conectar en paralelo, éste se calculará como el valor máximo que permite el inversor. Se divide la potencia máxima que admite el inversor en la entrada entre la potencia de una rama con el número de lonas en serie calculadas en el punto anterior a -10°C, ya que a esta temperatura se toma el valor máximo de potencia:

$$N^{\circ\ ramas\ paralelo} = \frac{P_{máx}}{N^{\circ\ serie} \cdot P_{(-10^{\circ}C)}} \quad (\text{Ec. 6.8.})$$

En la siguiente tabla resumen 6.10. aparece el número de láminas necesarias en cada serie.

	PVL-144	PVL-136
nº máx. series 1 (láminas)	12	12
nº máx. series 2 (láminas)	13	13
nº máx. de laminas en serie=min(s1,s2)	12	12
nº mín. serie	5	5
nº ramas paralelo	7	8

Tabla 6.10. Número de láminas

- **Resultados para PVL-144:**

Para dimensionar una instalación de 100kW se necesitan 10 inversores 10kW cada uno, lo que implica:

84 láminas/inversor*10 inversores → 840 láminas.

Cada 3 láminas hay una lona, por lo tanto:

840/3 → 280 lonas

280*(144W*3)=120.960 W.

Este valor se pasa del máximo que soporta la instalación, por lo tanto hay que rectificar el número de lonas y coger un menos, en el caso de escoger 9 lonas en serie:

9 lonas*7 ramas en paralelo→63 láminas/inversor.

63 láminas/inversor*10 inversores→630

630/3→210 lonas*(144*3) W/lona→90.720 W

- **Resultados para PVL-136:**

12láminas*8ramas en paralelo=96

96 láminas/inversor*10 inversores→960 láminas

960/3→320 lonas

320 lonas*(136W*3)→130.560Wp

Hay que rectificar:

Se cogen 9 láminas:

9*8 ramas en paralelo→72 láminas/inversor

72 láminas/inversor *10 inversores→720 láminas

720 láminas/3→240 lonas

240 lonas *(136*3) W→97.920W

Para poder confirmar que estos valores son correctos, se tienen que verificar que no se sobrepase la intensidad máxima de entrada que permite el inversor. Por eso, se coge la intensidad de cortocircuito a 70°C ($I_{cc}(70^{\circ}\text{C})$), ya que es la temperatura a la que la corriente de cortocircuito toma el valor más grande y se comprueba que todos los ramales en paralelo no exceden el valor máximo de entrada al inversor:

$$I_{m\acute{a}x} = N^{\circ}_{ramas\ paralelo} \times I_{cc(+70^{\circ}\text{C})} \quad (\text{Ec. 6.9})$$

- Para el producto 1, PVL-144:

$$I_{m\acute{a}x} = N^{\circ}_{ramas\ paralelo} \times I_{cc(+70^{\circ}\text{C})} = 4 \times 5,32 = 21,28 \text{ A}$$

$$I_{m\acute{a}x} = N^{\circ}_{ramas\ paralelo} \times I_{cc(+70^{\circ}\text{C})} = 5 \times 5,32 = 26,6 \text{ A}$$

$$I_{m\acute{a}x} = N^{\circ}_{ramas\ paralelo} \times I_{cc(+70^{\circ}\text{C})} = 6 \times 5,32 = 31,92 \text{ A}$$

- Para el producto 2, PVL-136:

$$I_{m\acute{a}x} = N^{\circ}_{ramas\ paralelo} \times I_{cc(+70^{\circ}\text{C})} = 5 \times 5,12 = 25,6 \text{ A}$$

$$I_{m\acute{a}x} = N^{\circ}_{ramas\ paralelo} \times I_{cc(+70^{\circ}\text{C})} = 6 \times 5,12 = 30,72 \text{ A}$$

Siento $I_{m\acute{a}x}=26A$, el número máximo de ramas en paralelo para ambos productos es el escogido anteriormente, 7 y 8 respectivamente para el producto 1 y 2.

De esta manera para una instalación de 100kW de potencia instalada a nivel de generación eléctrica, el sistema vendría conformado por 10 inversores y cada inversor formado por 7 ramas en paralelo y 12 lonas en serie en el caso del producto 1 o por 8 ramas en paralelo y 12 lonas en serie en el caso del producto 2. Saldría un total de 210 y 240 lonas respectivamente.

- Instalación final

Las instalaciones irán conformadas, en cuanto a grupos de generación energética y adaptación a corriente alterna, de la manera siguiente (ver Tabla 6.11.):

	PVL-144	PVL-136
	Inst100	Inst100
nº inversores	10	10
nº lonas en serie	12	12
nº ramas en paralelo	7	8
total lonas	210	240
P_{útil} del generador (Wp)	90.720	97.920

Tabla 6.11. Tabla resumen de la instalación final

El número de instalaciones viene determinado por la superficie útil de cada polígono y por la superficie mínima requerida según el tipo de lámina a instalar, (ver Tablas 6.12. y 6.13.)

- Producto 1: PVL-144

Polígono industrial	Superficie cubierta útil (m²)	Nº Inst100	Potencia instalada (kW)
CIM Lleida	135.042	34	3.400
CIM El Camp	91.974	23	2.300

Tabla 6.12. Instalaciones con el producto PVL-144

- Producto 2: PVL-136

Polígono industrial	Superficie cubierta útil (m²)	Nº Inst100	Potencia instalada (kW)
CIM Lleida	135.042	52	5.200
CIM El Camp	91.974	35	3.500

Tabla 6.13. Instalaciones con el producto PVL-136

7. RESULTADOS ENERGÉTICOS

7.1. Cálculo de pérdidas en la instalación eléctrica

Las pérdidas en la instalación eléctrica vendrán dadas, por diferentes factores, que se van a analizar a continuación:

a) Pérdidas en el cableado

Las pérdidas en el cableado vienen dadas por las caídas de tensión tanto en corriente continua como en corriente alterna que se originan cuando una determinada corriente circula por un conductor de un material y sección determinada.

Se consideran pérdidas en el concepto de cableado un porcentaje recomendado por el pliego de condiciones del IDAE [12], el cual es del 2%.

b) Pérdidas por suciedad sobre los módulos

Se acepta que en condiciones normales de mantenimiento, las pérdidas por suciedad sobre los módulos de lonas fotovoltaicas no tienen por qué superar el 1%. Este será el valor que se tomará para realizar los cálculos.

c) Pérdidas por inclinación y azimut

Las instalaciones de Lleida y Reus se encuentran a una latitud de $41^{\circ} 36' 52.87092''$ y $41^{\circ} 8' 1.50669''$ respectivamente, orientadas las dos con un azimut 0° , es decir, en el sur geográfico.

Los límites de inclinación de los módulos fotovoltaicos se obtienen del siguiente gráfico disponible en el CTE [13], donde se relaciona una orientación e inclinación de los módulos distintas a las óptimas ($\alpha=0^{\circ}$, β_{opt}), con los porcentajes de radiación aprovechable (indirectamente el porcentaje de pérdidas producidas).

Asimismo, el CTE [13] indica que los módulos instalados en superposición deben tener pérdidas por orientación e inclinación menores al 20%, es decir, un porcentaje de radiación aprovechable mayor al 80%,

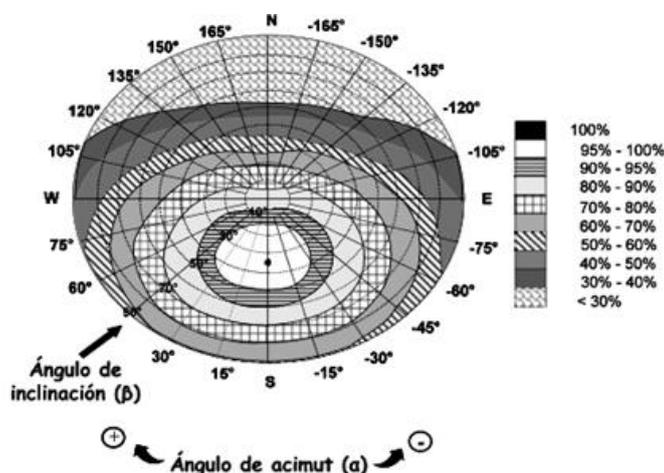


Figura 7.1. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación

La orientación óptima es la orientación sur, y se conoce que para un periodo de diseño anual, la inclinación óptima de los paneles (β_{opt}), considerando orientación sur ($\alpha=0^\circ$), es:

- Lleida: $\beta_{opt}=41^\circ 36' 52.87092''-10^\circ=31^\circ 36' 52.87092''$
- Reus : $\beta_{opt}= 41^\circ 8' 1.50669''-10^\circ=31^\circ 8' 1.50669''$

La recta sobre el eje correspondiente al azimut $\alpha=0^\circ$ del grafico interseca con el límite de pérdidas menores al 20% (radiación aprovechada mayor al 80%), obteniéndose:

$$\beta_{mayor\ gráfico}= 70^\circ$$

$$\beta_{menor\ gráfico}=0^\circ$$

Los módulos fotovoltaicos instalados en superposición en la cubierta de la nave, que tiene 10° de inclinación (17% de pendiente) está dentro del intervalo que determina el límite de perdidas legalmente aceptado.

Ahora se calculan las pérdidas por orientación e inclinación:

El porcentaje exacto de pérdidas por orientación e inclinación es:

$$P(\%) = 100(1 - FI) \quad (\text{Ec.7.1})$$

Siento FI el Factor de Irradiación del módulo, tal que:

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^{-4}] \quad (\text{Ec.7.2})$$

para $\beta \leq 15^\circ$

Para $\beta=10^\circ$ y $\beta_{opt}=31^\circ$ se obtiene $FI=0,947$ y $P=5\%$

d) Pérdidas por sombras

No hay pérdidas por sombra puesto que las lonas van instaladas en la superficie de la cubierta de la nave y no tienen estructura de soporte por lo tanto no se hacen sobra unas con otras.

e) Pérdidas en el inversor

El rendimiento del inversor aparece en la hoja de características del mismo. En el inversor utilizado para la instalación del proyecto considerado aparece el rendimiento máximo y el rendimiento europeo. Se considera más aceptado el rendimiento europeo, que es este caso es del 98,5%, por lo tanto el porcentaje de pérdidas se considera de un 1,5%.

f) Pérdidas por dispersión de parámetros

El pliego de condiciones de IDAE asegura que los módulos no son idénticos al 100%, es decir, que aunque su fabricación haya sido idéntica cada módulo puede ofrecer de manera individual un valor de potencia diferente. Al igual que otros productos de mercado, los fabricantes garantizan un valor para la potencia de un módulo de manera que éste se encuentre dentro de un margen que oscila según indica el mismo fabricante

Dada esta razón, existe un porcentaje de pérdidas que se puede considerar según el IDAE de un 2%.

g) Pérdidas por temperatura

En la tecnología fotovoltaica de capa fina, concretamente en las lonas fotovoltaicas se producen unas pérdidas de potencia del orden de un 4-5% por cada 10°C de aumento de su temperatura de operación (dependiendo del tipo de tecnología utilizada para el fabricante de la célula). Estas pérdidas vienen provocadas por la temperatura de trabajo de las células fotovoltaicas, la cual no suele ser la misma que en el lugar donde se llevan a cabo las pruebas de cara a establecer las características de los diferentes módulos.

Para calcular las pérdidas por temperatura se lleva a cabo el proceso determinado en el pliego de condiciones del IDAE.

$$T_c = T_a + \frac{(TONC-20) \cdot E}{800} \quad (\text{Ec. 7.3.})$$

$$P_{Tc} = P_{25^\circ C} \cdot \left(1 + \frac{T_{K(P)}(T_c - 25^\circ C)}{100}\right) \quad (\text{Ec. 7.4.})$$

T_c : temperatura de las células solares (°C)

T_a : temperatura ambiente

TONC: temperatura de operación normal de la célula (°C)

E: irradiación solar al medio día en W/m^2

P_{tc} : potencia de un módulo considerado a la temperatura de las células en W

$P_{25^\circ C}$: potencia nominal de un módulo en CEM en W(144W y 136W según la hoja de especificaciones técnicas de las lonas)

$T_{k(P)}$: -0,21%/°C según la hoja de especificaciones técnicas de las lonas

Los valores de irradiación (E) y temperatura ambiente (T_a) al mediodía solar se consideraran los oportunos para la provincia de Lleida y de Tarragona según la situación de cada polígono. (Ver tablas 7.1. y 7.2.)

- Polígono CIM Lleida:

Mes	T _a (°C)	E (kWh/m ²)	T _c (°C)	P _{25°C} PVL-144	P _{tc} (W) PVL-144	Pérdidas (%) PVL-144	P _{25°C} PVL-136	P _{tc} (W) PVL-136	Pérdidas (%) PVL-136
Enero	5,7	510	27	144	143,37	0,43	136	135,41	0,43
Febrero	7,3	727	33	144	141,57	1,68	136	133,71	1,68
Marzo	11,8	835	41,3	144	139,05	3,43	136	131,33	3,43
Abril	13,4	783	41,2	144	139,08	3,41	136	131,36	3,41
Mayo	15	771	45,6	144	137,75	4,33	136	130,1	4,33
Junio	20,8	862	53,5	144	135,37	5,98	136	127,86	5,98
Julio	26,3	925	56,5	144	134,48	6,61	136	127,01	6,61
Agosto	24,4	896	57,4	144	134,19	6,81	136	126,74	6,81
Septiembre	21,2	874	52,3	144	135,74	5,73	136	128,2	5,73
Octubre	18,1	742	43,1	144	138,52	3,8	136	130,83	3,8
Noviembre	9,6	602	33,2	144	141,53	1,71	136	133,67	1,71
Diciembre	2,2	477	27	144	143,39	0,41	136	135,43	0,41

Tabla 7.1. Tabla de pérdidas energéticas en CIM Lleida

Debido a la temperatura del módulo PVL-144 la media de pérdidas es de 3,69%.

Debido a la temperatura del módulo PVL-136 la media de pérdidas es de 3,69%.

- Polígono CIM El Camp (Tarragona):

Mes	T _a (°C)	E (kWh/m ²)	T _c (°C)	P _{25°C} PVL-144	P _{tc} (W) PVL-144	Pérdidas (%) PVL-144	P _{25°C} PVL-136	P _{tc} (W) PVL-136	Pérdidas (%) PVL-136
Enero	10,5	625	30,8	144	142,24	1,22	136	134,34	1,22
Febrero	9,4	750	33,8	144	141,34	1,84	136	133,49	1,84
Marzo	14,2	802	40,3	144	139,38	3,21	136	131,64	3,2
Abril	15,8	817	42,4	144	138,75	3,64	136	131,04	3,64
Mayo	20,6	822	47,3	144	137,25	4,69	136	129,63	4,68
Junio	25,5	869	53,7	144	135,3	6,04	136	127,79	6,03
Julio	26,4	903	55,7	144	134,7	6,46	136	127,22	6,45
Agosto	28,3	866	56,4	144	134,49	6,6	136	127,02	6,6
Septiembre	23,9	839	51,2	144	136,09	5,49	136	128,53	5,49
Octubre	19	744	43,2	144	138,5	3,81	136	130,81	3,81
Noviembre	13,6	653	34,8	144	141,03	2,06	136	133,19	2,06
Diciembre	11,5	627	31,8	144	141,92	1,44	136	134,03	1,44

Tabla 7.2. Tabla de pérdidas energéticas en CIM El Camp

Debido a la temperatura del módulo PVL-144 la media de pérdidas es de 3,87%.

Debido a la temperatura del módulo PVL-136 la media de pérdidas es de 3,87%.

h) Resumen de pérdidas (Ver Tablas 7.3. y 7.4.)

- Polígono CIM Lleida

Mes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	PT	PR
Enero	2	1	5	1,5	2	0,43	11,93	88,07
Febrero	2	1	5	1,5	2	1,68	13,18	86,82
Marzo	2	1	5	1,5	2	3,43	14,93	85,07
Abril	2	1	5	1,5	2	3,41	14,91	85,09
Mayo	2	1	5	1,5	2	4,33	15,83	84,17
Junio	2	1	5	1,5	2	5,98	17,48	82,52
Julio	2	1	5	1,5	2	6,61	18,11	81,89
Agosto	2	1	5	1,5	2	6,81	18,31	81,69
Septiembre	2	1	5	1,5	2	5,73	17,23	82,77
Octubre	2	1	5	1,5	2	3,8	15,3	84,7
Noviembre	2	1	5	1,5	2	1,71	13,21	86,79
Diciembre	2	1	5	1,5	2	0,41	11,91	88,09

Tabla 7.3. Resumen de pérdidas en CIM Lleida

- Polígono CIM El Camp

Mes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	PT	PR
Enero	2	1	5	1,5	2	1,22	12,72	87,28
Febrero	2	1	5	1,5	2	1,84	13,34	86,66
Marzo	2	1	5	1,5	2	3,2	14,7	85,3
Abril	2	1	5	1,5	2	3,64	15,14	84,86
Mayo	2	1	5	1,5	2	4,68	16,18	83,82
Junio	2	1	5	1,5	2	6,03	17,53	82,47
Julio	2	1	5	1,5	2	6,45	17,95	82,05

Agosto	2	1	5	1,5	2	6,6	18,1	81,9
Septiembre	2	1	5	1,5	2	5,49	16,99	83,01
Octubre	2	1	5	1,5	2	3,81	15,31	84,69
Noviembre	2	1	5	1,5	2	2,06	13,56	86,44
Diciembre	2	1	5	1,5	2	1,44	12,94	87,06

Tabla 7.4. Resumen de pérdidas en CIM El Camp

P1: pérdida por cableado

P2: pérdida por suciedad sobre los módulos

P3: pérdida por sombras

P4: pérdida por inversor

P5: pérdida por dispersión de parámetros

P6: pérdida por temperatura de la célula

PT: pérdidas totales

PR: "Performance Ratio"

7.2. Producción de energía anual esperada

Para calcular la producción esperada se va a utilizar la ecuación propuesta en el Pliego de Condiciones Técnicas por el IDAE:

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp} \cdot PR'}{G_{CEM}} \quad (\text{Ec. 7.5.})$$

Donde:

E_p : energía inyectada a la red (kWh/día)

$G_{dm}(\alpha, \beta)$: valor medio anual de la irradiación diaria sobre el plano del generador (kWh/m²día), siendo α el azimut de la instalación, en este caso es de 0°, y β la inclinación de los módulos, que en este caso es de 10°.

P_{mp} : potencia del generador fotovoltaico (kW)

PR': Performance Ratio 1-ZPT

G_{CEM} : constante de irradiación que tiene valor 1 (kW/m²)

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de irradiación en superficie plana e irradiación en superficie inclinada a 10° y con azimut 0° . Estos datos provienen de la Comisión Europea, PVGIS Solar Irradiation Data [14], donde entrando con la latitud y la longitud del lugar, se obtienen datos estadísticos de irradiación con cielo real.

Se han introducido los nombres de los municipios de Lleida y Reus (Tarragona) cuyos resultados de latitud y longitud, y elevación respecto del nivel del mar se indican en la tabla 7.5. a continuación:

	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
Lleida	41° 36' 52.87092" N	0° 41' 0.05192" E	182
Reus (Tarragona)	41° 8' 1.50669" N	1° 11' 0.15937" E	69

Tabla 7.5. Localidades con sus latitudes, longitudes y elevación al mar correspondiente

Una vez conocido el peso total de las pérdidas calculadas en los apartados anteriores que se deben considerar, se está en disposición de calcular la energía producida en función del mes utilizando la ecuación escrita anteriormente (Ec. 7.5). De esta manera; multiplicando este valor por el número de días que componen cada mes, se conoce la energía total producida mensualmente y el total del año sumando estas. (Ver tablas 7.6, 7.7., 7.8. y 7.9.) .

- Polígono CIM Lleida:

Producto 1: PVL-144

Mes	H(10) Wh/m ² día	Días	Pérdidas	Energía producida (kWh/mes)
enero	2.290	31	0,8807	5.672
febrero	3.690	28	0,8682	8.138
marzo	5.153	31	0,8507	12.328
abril	5.980	30	0,8509	13.849
mayo	6.790	31	0,8417	16.073
junio	7.540	30	0,8252	16.934
julio	7.700	31	0,8189	17.733
agosto	6.790	31	0,8169	15.599
septiembre	5.590	30	0,8277	12.592
octubre	4.000	31	0,8470	9.528
noviembre	2.750	30	0,8679	6.496
diciembre	2.080	31	0,8809	5.153
TOTAL energía producida anual (kWh)				140.095

Tabla 7.6. Energía producida por cada instalación en CIM Lleida con el producto 1

- Producto 2: PVL-136

Mes	H(10) Wh/m ² día	Días	Pérdidas	Energía producida (kWh/mes)
enero	2.290	31	0,8807	6.122
febrero	3.690	28	0,8682	8.784
marzo	5.153	31	0,8507	13.307
abril	5.980	30	0,8509	14.948
mayo	6.790	31	0,8417	17.348
junio	7.540	30	0,8252	18.278
julio	7.700	31	0,8189	19.141
agosto	6.790	31	0,8169	16.837
septiembre	5.590	30	0,8277	13.592
octubre	4.000	31	0,8470	10.284
noviembre	2.750	30	0,8679	7.011
diciembre	2.080	31	0,8809	5.562
TOTAL energía producida anual (kWh)				151.213

Tabla 7.7. Energía producida por cada instalación en CIM Lleida con el producto 2

- Polígono CIM El Camp

- Producto 1: PVL-144

Mes	H(10) Wh/m ² día	Días	Pérdidas	Energía producida (kWh/mes)
enero	2.720	31	0,8728	6.676
febrero	3.780	28	0,8666	8.321
marzo	4.910	31	0,853	11.779
abril	5.850	30	0,8486	13.511
mayo	6.700	31	0,8382	15.794
junio	7.430	30	0,8247	16.677
julio	7.420	31	0,8205	17.122
agosto	6.490	31	0,8190	14.948
septiembre	5.350	30	0,8301	12.087
octubre	4.000	31	0,8469	9.527
noviembre	2.990	30	0,8644	7.034
diciembre	2.630	31	0,8706	6.439
TOTAL energía producida anual (kWh)				139.915

Tabla 7.8. Energía producida por cada instalación en CIM El Camp con el producto 1

- Producto 2: PVL-136

Mes	H(10) Wh/m ² día	Días	Pérdidas	Energía producida (kWh/mes)
enero	2.720	31	0,8728	7.206

febrero	3.780	28	0,8666	8.981
marzo	4.910	31	0,853	12.713
abril	5.850	30	0,8486	14.583
mayo	6.700	31	0,8382	17.047
junio	7.430	30	0,8247	18.000
julio	7.420	31	0,8205	18.481
agosto	6.490	31	0,8190	16.135
septiembre	5.350	30	0,8301	13.046
octubre	4.000	31	0,8469	10.283
noviembre	2.990	30	0,8644	7.592
diciembre	2.630	31	0,8706	6.950
TOTAL energía producida anual (kWh)				151.019

Tabla 7.9. Energía producida por cada instalación en CIM El Camp con el producto 2

De acuerdo con los diferentes tipos y modalidades de instalaciones que conforman las naves industriales, a continuación se detallan los resultados de la capacidad productiva de las mismas por separado (Tabla 7.10.):

Tipo de Módulo	Polígono	NºInst100kW	Potencia Instalada (kW)	Total energía producida (kWh/año)
PRODUCTO 1 PVL-144	CIM Lleida	36	3.600	4.832.950
	CIM El Camp	25	2.500	3.198.135
PRODUCTO 2 PVL-136	CIM Lleida	52	5.200	7.863.094
	CIM El Camp	35	3.500	5.285.664

Tabla 7.10. Tabla resumen del total de la energía producida

Los resultados obtenidos a nivel de generación de energía solar fotovoltaica de las provincias de Lleida y Tarragona se van a comparar con los de una ciudad industrial española (a nivel nacional) como es Vitoria y otra en Alemania (a nivel europeo) que es Hamburgo.

En esta primera Tabla 7.11. se muestra la localización de las ciudades Vitoria y Hamburgo.

	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
Vitoria	42° 51' N	2° 40' O	525
Hamburgo	53° 33' N	10° 0' E	6

Tabla 7.11. Localidades con sus latitudes, longitudes y elevación al mar correspondiente

Para el cálculo de la producción anual de energía se seguirá el mismo proceso anterior adoptando como porcentaje de pérdidas un 30%.

Se han obtenido los siguientes resultados que aparecen en las Tablas 7.12. y 7.13. a continuación:

- Vitoria (País Vasco, España)

Mes	H(10) Wh/m ² día	PR	Días	Producto 1 (PVL-144) E _{p100} [kWh/mes]	Producto 2 (PVL-136) E _{p100} [kWh/mes]
enero	1.840	31	0,7	3.622	3.910
febrero	2.670	28	0,7	4.748	5.124
marzo	3.940	31	0,7	7.756	8.372
abril	4.880	30	0,7	9.297	10.035
mayo	5.680	31	0,7	11.182	12.069
junio	6.310	30	0,7	12.021	12.975
julio	6.590	31	0,7	12.973	14.003
agosto	5.780	31	0,7	11.379	12.282
septiembre	4.850	30	0,7	9.240	9.973
octubre	3.290	31	0,7	6.477	6.991
noviembre	2.000	30	0,7	3.810	4.113
diciembre	1.680	31	0,7	3.307	3.570
Total energía producida anual (kWh)				95.812	103.416

Tabla 7.12. Energía producida por cada instalación en Vitoria con el producto 1 y 2

- Hamburgo (Alemania)

Mes	H(10) Wh/m ² día	PR	Días	Producto 1 (PVL-144) E _{p100} [kWh/mes]	Producto 2 (PVL-136) E _{p100} [kWh/mes]
enero	682	31	0,7	1.343	1.449
febrero	1.370	28	0,7	2.436	2.629
marzo	2.780	31	0,7	5.473	5.907
abril	4.620	30	0,7	8.802	9.500
mayo	5.380	31	0,7	10.591	11.432
junio	5.510	30	0,7	10.497	11.330
julio	5.220	31	0,7	10.276	11.092
agosto	4.450	31	0,7	8.760	9.456
septiembre	3.300	30	0,7	6.287	6.786

octubre	1.940	31	0,7	3.819	4.122
noviembre	850	30	0,7	1.619	1.748
diciembre	598	31	0,7	1.177	1.271
Total energía producida anual (kWh)				71.081	76.722

Tabla 7.13. Energía producida por cada instalación en Hamburgo con el producto 1 y 2

A continuación, en la Tabla 7.14. se detallan los resultados de la capacidad productiva de las diferentes instalaciones por separado comparando el polígono CIM El Camp en Reus con las ciudades Vitoria y Hamburgo utilizando el producto 2 (PVL-136), ya que es con el que se obtienen mejores resultados.

Polígono	Nº Inst100kW	Potencia Instalada [kW]	Total energía producida en todas las instalaciones de 100kW [kWh/año]
CIM El Camp	35	3.500	5.285.665
Vitoria	35	3.500	3.619.560
Hamburgo	35	3.500	2.685.270

Tabla 7.14. Tabla resumen del total de la energía producida

Se ha comparado la cantidad de energía producida si se hubiera instalado la planta fotovoltaica en Vitoria o en Hamburgo respecto al polígono de Reus. La gran diferencia se debe a la radiación recibida, Cataluña tiene una situación privilegiada en cuanto a irradiancia solar y número de horas de Sol.

Comparando resultados, en Vitoria hay un 32% menos de producción de energía y en Hamburgo un 49% menos respecto a Reus.

Estos resultados, dan que pensar, en cierto modo, ya que Alemania está apostando por la tecnología solar fotovoltaica más que en España, mientras que aquí se podría conseguir mucha más energía de la que se está produciendo.

7.3. Comparativa con el consumo actual de la empresa

Teniendo en cuenta los datos proporcionados por CIMALSA en relación al consumo eléctrico anual real de cada uno de los dos polígonos, se compara este dato con la energía solar fotovoltaica producidas mediante las lonas de capa final de los dos productos, para los polígonos de Lleida y El Camp. (Ver Tablas 7.15. y 7.16.).

- Lleida

Parcelas	m ² totales	m ² con reducción del 20% para cubierta útil	Potencia consumida (W)	Energía consumida (kWh/año)
P1	23.983	19.186	767.456	1.602.448
P4	17.805	14.244	569.760	1.189.659
P5	9.948	7.958	318.336	664.686
P6	11.598	9.278	371.136	774.932
P7	36.318	29.054	1.162.176	2.426.623



P8	30.441	24.353	974.112	2.033.946
P9	16.310	13.048	521.920	1.089.769
P10	22.399	17.919	716.768	1.496.612
TOTAL	168.802	135.042	5.401.664	11.278.674

Tabla 7.15. Tabla de energía consumida en el polígono de Lleida

- El Camp (Reus, Tarragona)

Parcelas	m ² totales	m ² con reducción del 20% para cubierta útil	Potencia consumida (W)	Energía consumida (kWh/año)
P1	16.689	13.908	556.308	1.161.571
P7	20.847	17.373	694.908	1.450.968
P8	16.838	14.032	561.276	1.171.944
P9	17.575	14.646	585.828	1.223.209
P14	38.419	32.016	1.280.628	2.673.951
TOTAL	110.368	91.974	3.678.948	7.681.643

Tabla 7.16. Tabla de energía consumida en el polígono de Reus

La energía consumida ha sido calculada como la potencia por el número de horas al día que se trabajan (8h/día) durante los 261 días laborables del año.

En la siguiente tabla 7.17. se va a indicar el porcentaje de energía solar fotovoltaica producido respecto al consumo del polígono:

Tipo de Módulo	Polígono	Consumo (kWh/año)	Energía total producida [kWh/año]	% de FV respecto al consumo
PRODUCTO 1 PVL-144	LLEIDA	11.278.674	4.832.950	43%
	EL CAMP	7.681.643	3.198.135	42%
	TOTAL	18.960.318	8.031.085	42%
PRODUCTO 2 PVL-136	LLEIDA	11.278.674	7.863.094	70%
	EL CAMP	7.681.643	5.285.664	69%
	TOTAL	18.960.318	13.148.759	69%

Tabla 7.17. Tabla comparativa de consumo y energía producida

8. RESULTADOS ECONÓMICOS

En base al marco legislativo actual y el de carácter de inversión económica para el que se llevan a cabo este tipo de instalaciones, se va a elaborar un estudio económico de la instalación considerada, y se analizan los problemas que hay con el actual sistema de regulación del mercado fotovoltaico y las bases sobre las que se está trabajando de cara a establecer un cambio que relance las posibilidades de desarrollo del sector fotovoltaico. Los resultados del estudio se muestran en este apartado, el detalle de estos particularmente para los polígonos de Lleida y Reus figura en el Anexo F.

Se debe tener en cuenta que desde enero de 2012 no hay prima para las instalaciones de producción de energía eléctrica por fuentes de energía según el *Real Decreto-Ley 1/2012 [1] por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de pre-asignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para las nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovable y residuos.*

Además, se va a tener la cuenta el actual borrado sobre los pejes de respaldo, *Real Decreto de Autoconsumo [16]*.

Puesto que con el producto 2 se produce más energía ya que la potencia pico es mayor, se van a realizar los cálculos económicos con este producto para los dos polígonos, Lleida y Reus.

Para ello, se va a realizar una comparativa económica según varias hipótesis que se explican en el apartado siguiente. Hay que tener en cuenta el precio de la electricidad a día de hoy y la nueva normativa según peajes.

En el presente proyecto se va a suponer a la empresa CIMALSA como gestor energético, es decir, las empresas de las naves industriales pagan a CIMALSA su consumo de energía. De esta manera, es CIMALSA la que paga la inversión de la instalación fotovoltaica, llevándose unos beneficios.

8.1.Coste inversión y ahorro por energía fotovoltaica producida

- Inversión

Para poder saber el coste de la inversión se va a valorar el coste de una instalación de 100kW y multiplicar este coste por el número de instalaciones según el polígono y el producto utilizado.

El coste de la inversión es de 1,31€/Wp, por lo tanto para el producto 2, hay una potencia instalada de 97.920Wp, por lo que resulta 128.275€ una instalación de 100kW.

El desglose de una instalación fotovoltaica de 100kW teniendo en cuenta suministro y colocación se puede ver en el Anexo E.

Para una instalación de 100kW con el producto 2, el desglose de las partidas necesarias suman un total de 128.275€. El número total de instalaciones de 100kW

para este producto son 87, por lo tanto, la inversión total es de 11.159.925€. En la siguiente tabla 8.1. se observan los resultados.

Tipo de Módulo	Polígono	Coste (€) Inst 100kW	Nº Inst 100kW	Coste total (€)
Producto 2 PVL-136	Lleida	128.275	52	6.670.300
	El Camp	128.275	35	4.489.625
TOTAL			87	11.159.925

Tabla 8.1. Tabla de presupuesto de inversión inicial

- Coste energía consumida (ver tabla 8.2.)

En la actualidad el precio de la energía eléctrica está variando mucho en cada trimestre del año, para hacer una estimación del coste de la energía consumida anualmente se ha escogido una media del precio de la energía, son 0,16€/kWh. Con ello, se ha calculado el importe de la factura.

Polígono	Energía consumida (kWh/año)	Importe factura (€/año)
LLEIDA	11.278.674	1.804.588
EL CAMP	7.681.643	1.229.063
TOTAL	18.960.318	3.033.651

Tabla 8.2. Tabla del coste de la energía consumida

Estos valores serán con el que se empezaran a calcular los ingresos el primer año, para años posteriores se aplicará un incremento en el precio de compra que se calculará a partir del valor del IPC, un 3%.

- Importe ahorrado

Con los datos anteriores sobre energía consumida, energía producida e importe de la factura, se calcula el total a pagar gracias a la producción de energía solar, esto se indica a continuación en la tabla 8.3.:

Tipo de módulo	Polígono	Energía consumida (kWh/año)	Importe factura (€/año)	Energía producida (kWh/año)	Importe ahorrado (€/año)	Total a pagar (€/año)
Producto 2	LLEIDA	11.278.674	1.804.588	7.863.094	1.258.095	546.493

PVL-136	EL CAMP	7.681.643	1.229.063	5.285.664	845.706	383.357
	TOTAL	18.960.318	3.033.651	13.148.759	2.103.801	929.849

Tabla 8.3. Tabla del importe ahorrado con la energía producida con FV

El resultado a pagar a la compañía eléctrica es la reducción del total de energía consumida por el conjunto de todas las naves menos el importe que costaría toda la energía generada gracias a las instalaciones fotovoltaicas.

8.2. Cuadro de resultados

En el siguiente apartado se van a hacer una serie de hipótesis haciendo reducciones del importe de la factura a las empresas de las naves industriales.

En la tabla 8.4. se indican las reducciones, en el primer año, de un 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% y 70% sobre el importe de la factura eléctrica con el consumo de energía.

Polígonos	Sin reducción	Reducción 10%	Reducción 20%	Reducción 30%	Reducción 40%	Reducción 50%	Reducción 60%	Reducción 70%
LLEIDA	1.804.588	1.624.129	1.443.670	1.263.212	1.082.753	902.294	721.835	541.376
EL CAMP	1.229.063	1.106.157	983.250	860.344	737.438	614.531	491.625	368.719
TOTAL	3.033.651	2.730.286	2.426.921	2.123.556	1.820.191	1.516.825	1.213.460	910.095

Tabla 8.4. Tabla de reducciones en el importe de la factura

En el cuadro de resultados se van a representar la inversión, el total de los ingresos, los gastos fijos y el periodo de retorno de la inversión (Pay-Back), todo ello con un IPC 3% anual.

Inversión: la cantidad que hay que invertir para poder hacer la instalación, siendo esta de 11.159.925€.

Total ingresos: la cantidad que pagan el total todas las empresas a CIMALSA (gestor energético) por la factura de la luz.

Total gastos fijos: cantidad a pagar anualmente por mantener las instalaciones, 200.000€/año.

Total a pagar en la factura por CIMALSA: la cantidad que tiene que pagar CIMALSA con lo que le da cada una de las empresas de las naves.

Pay-back: periodo de retorno de la inversión.

El total se calcula a 30 años, que es el periodo de amortización de la instalación.

Los resultados se expresan en las siguientes tablas 8.5., 8.6., 8.7., 8.8, 8.9., 8.10., 8.11. y 8.12. según las hipótesis explicadas anteriormente.

- Sin reducción

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30	
Inversión(€)	11.159.942					
Total ingresos(€)		3.033.651	3.124.661			144.327.207
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000			9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744			44.237.953
TOTAL		1.903.802	1.960.916			90.574.185
TOTAL acumulado		1.903.802	3.864.718			1.205.911.416
Pay-back (años)						6

Tabla 8.5. Cuadro de resultados sin reducciones en el importe de la factura

- Reducción 10%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30	
Inversión(€)	11.159.942					
Total ingresos(€)		2.730.286	2.812.194			129.894.487
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000			9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744			44.237.953
TOTAL		1.600.437	1.648.450			76.141.451
TOTAL acumulado		1.600.437	3.248.887			1.013.752.912
Pay-back (años)						7

Tabla 8.6. Cuadro de resultados con una reducción del 10% en el importe de la factura

- Reducción 20%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30
Inversión(€)	11.159.942				
Total ingresos(€)		2.426.921	2.499.728		13.954.800
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		115.461.766
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744		9.515.083
TOTAL		1.297.072	1.335.984		44.237.953
TOTAL acumulado		1.297.072	2.633.056		61.708.730
Pay-back (años)					8

Tabla 8.7. Cuadro de resultados con una reducción del 20% en el importe de la factura

- Reducción 30%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30
Inversión(€)	11.159.942				
Total ingresos(€)		2.123.556	2.187.262		101.029.045
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744		44.237.953
TOTAL		993.707	1.023.518		47.276.009
TOTAL acumulado		993.707	2.017.225		629.436.287
Pay-back (años)					10

Tabla 8.8. Cuadro de resultados con una reducción del 30% en el importe de la factura

- Reducción 40%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30
----------	-------	-------	-------	-----	--------

Inversión(€)	11.159.942				
Total ingresos(€)		1.820.191	1.874.796		86.596.324
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744		44.237.953
TOTAL		690.342	711.052		32.843.289
TOTAL acumulado		690.342	1.401.393		437.277.975
Pay-back (años)					14

Tabla 8.9. Cuadro de resultados con una reducción del 40% en el importe de la factura

- Reducción 50%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2		Año 30
Inversión(€)	11.159.942				
Total ingresos(€)		1.516.826	1.562.330		72.163.604
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744		44.237.953
TOTAL		386.977	398.586	...	18.410.568
TOTAL acumulado		386.977	785.562		245.119.663
Pay-back (años)					22

Tabla 8.10. Cuadro de resultados con una reducción del 50% en el importe de la factura

- Reducción 60%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30	
Inversión(€)	11.159.942					
Total ingresos(€)		1.213.460	1.249.864			57.730.883
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000			9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744			44.237.953
TOTAL		83.611	86.120			3.977.847
TOTAL acumulado		83.611	169.731			52.961.351
Pay-back (años)						---

Tabla 8.11. Cuadro de resultados con una reducción del 60% en el importe de la factura

- Reducción 70%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30	
Inversión(€)	11.159.942					
Total ingresos(€)		910.095	937.398			44.237.953
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000			9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744			44.237.953
TOTAL		- 219.754	- 226.346			- 10.454.874
TOTAL acumulado		- 219.754	- 446.100			- 139.196.961
Pay-back (años)						---

Tabla 8.12. Cuadro de resultados con una reducción del 70% en el importe de la factura

Los tablas completas se pueden ven en el Anexo F.

Con los resultados obtenidos en las tablas anteriores se observan los periodos de retorno de la inversión.

El producto 2 tiene un porcentaje de generación de energía fotovoltaica con respecto a la energía consumida de 69% entre los dos polígonos (CIM Lleida y CIM El Camp), los periodos de retorno empiezan con 6 años en el caso de no haber reducciones en la factura y subiendo hasta los 22 si hubiera un 50% de reducción en el factura. 30 años es el periodo de vida útil de la instalación fotovoltaica, de manera que una reducción el 60% ya superaría este periodo, y para una reducción del 70% la inversión ya no resulta viable.

8.3. Cuadro de resultados con peajes de respaldo

Dada la incertidumbre actual en relación a la normativa sobre el autoconsumo fotovoltaico y en base a un borrador *Real Decreto de Autoconsumo*. [16], se ha previsto hacer un estudio y aplicar el llamado peaje de respaldo que supone un impuesto a pagar por kWh de energía solar fotovoltaica producida. Este peaje se estima entre 0,04 y 0,086€/kWh, para el presente estudio se ha propuesto un impuesto de 0,06€/kWh producido.

Por ello, se han realizado los cálculos en previsión a esta medida que probablemente sea implantada en un plazo corto.

Se va a presentar de nuevo el cuadro de resultados con el producto 2 siguiendo las mismas hipótesis que en el apartado anterior. (Ver tablas 8.13, 8.14., 8.15., 8.16., 8.17., 8.18., 8.19. y 8.20).

Total peajes: la cantidad a pagar por el supuesto impuesto de los peajes de respaldo en función de la energía producida. Una cantidad de 37.533.460€ en el final de los 30 años de producción.

- Sin reducciones

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2		Año 30
Inversión(€)	11.159.942				
Total ingresos(€)		3.033.651	3.124.661		144.327.207
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744	...	44.237.953
Total peajes(€)		788.925	812.593		37.533.460
TOTAL		1.114.877	1.148.323		53.040.743
TOTAL acumulado		1.114.877	2.263.200		706.188.409
Pay-back (años)					9

Tabla 8.13. Cuadro de resultados con peajes de respaldo sin reducción en el importe de la factura

- Reducción 10%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2		Año 30
Inversión(€)	11.159.942				
Total ingresos(€)		2.730.286	2.812.194		129.894.487
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744	...	44.237.953
Total peajes(€)		788.925	812.593		37.533.460
TOTAL		811.512	835.857		38.608.016
TOTAL acumulado		811.512	1.647.369		514.029.982
Pay-back (años)					12

Tabla 8.14. Cuadro de resultados con peajes de respaldo una reducción del 10% en el importe de la factura

- Reducción 20%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2		Año 30
Inversión(€)	11.159.942				
Total ingresos(€)		2.426.921	2.499.728		115.461.766
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744	...	44.237.953
Total peajes(€)		788.925	812.593		37.533.460
TOTAL		508.147	523.391		24.175.295
TOTAL acumulado		508.147	1.031.538		321.871.670
Pay-back (años)					18

Tabla 8.15. Cuadro de resultados con peajes de respaldo una reducción del 20% en el importe de la factura

- Reducción 30%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2		Año 30
Inversión(€)	11.159.942				
Total ingresos(€)		2.123.556	2.187.262		101.029.045
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744	...	44.237.953
Total peajes(€)		788.925	812.593		37.533.460
TOTAL		204.782	210.925		9.742.581
TOTAL acumulado		204.782	415.707		129.713.473
Pay-back (años)					---

Tabla 8.16. Cuadro de resultados con peajes de respaldo una reducción del 30% en el importe de la factura

- Reducción 40%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2		Año 30
Inversión(€)	13.954.800				
Total ingresos(€)		1.820.191	1.874.796,3		86.596.324
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744	...	44.237.953
Total peajes(€)		788.925	812.593		37.533.460
TOTAL		- 98.583,4	- 101.541,2		- .690.139
TOTAL acumulado		- 98.583,4	- 200.124,6		- 62.444.839
Pay-back (años)					---

Tabla 8.17. Cuadro de resultados con peajes de respaldo una reducción del 40% en el importe de la factura

- Reducción 50%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30
Inversión(€)	13.954.800				
Total ingresos(€)		1.516.826	1.562.330		72.163.604
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744		44.237.953
Total peajes(€)		788.925	812.593		37.533.460
TOTAL		-401.949	-414.007		-19.122.860
TOTAL acumulado		-401.949	-815.956		-54.603.152
Pay-back (años)					---

Tabla 8.18. Cuadro de resultados con peajes de respaldo una reducción del 50% en el importe de la factura

- Reducción 60%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30
Inversión(€)	13.954.800				
Total ingresos(€)		1.213.460	1.249.864		57.730.883
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744		44.237.953
Total peajes(€)		788.925	812.593		37.533.460
TOTAL		- 705.314	- 726.473		- 33.555.581
TOTAL acumulado		- 705.314	- 1.431.787		- 446.761.464

Pay-back (años)					---
------------------------	--	--	--	--	-----

Tabla 8.19. Cuadro de resultados con peajes de respaldo una reducción del 60% en el importe de la factura

- Reducción 70%

Partidas	Año 0	Año 1	Año 2	...	Año 30
Inversión(€)	13.954.800				
Total ingresos(€)		910.095	937.398		44.237.953
Total gastos fijos(€)		200.000	206.000		9.515.083
Total a pagar en la factura por CIMALSA (€)		929.849	957.744	...	44.237.953
Total peajes(€)		788.925	812.593		37.533.460
TOTAL		- 1.008.679	- 1.038.939		- 47.988.302
TOTAL acumulado		- 1.008.679	- 2.047.618		- 638.919.776
Pay-back (años)					---

Tabla 8.20. Cuadro de resultados con peajes de respaldo una reducción del 70% en el importe de la factura

En los resultados de las tablas se observan los periodos de retorno. Para la primera hipótesis, es decir, el total del importe de la factura sin reducciones, el periodo de retorno es de 9 años. Si se compara con el apartado anterior, cuando no se habían aplicado los peajes de respaldo, dicho periodo ha aumentado 3 años.

En referencia a los resultados haciendo una reducción en el importe de la factura del 10%, el periodo de retorno es de 12 años y para una reducción del 20% es de 18 años, mientras que los resultados sin peajes son 7 y 8 años respectivamente para el 10% y el 20%. Para estas bajadas en el importe de la factura, el periodo ha incrementado bastante.

Evaluando los resultados para unas reducciones mayores en la factura, los periodos de retorno ya no corresponden a la vida útil de la instalación en el caso del 30% o ni siquiera son rentables desde un principio, como en el 40%, 50%, 60% y 70%.

El impuesto de los peajes de respaldo es una medida que hace disminuir los inversores de instalaciones fotovoltaicas ya que les supone un gran incremento en el periodo de retorno de la inversión y no les compensa.

9. PLANIFICACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS INSTALACIONES

Para planificar el plazo general de ejecución y puesta en marcha de este tipo de instalaciones solares fotovoltaicas, en adición al estudio de viabilidad y diseño y los propios de ejecución, hay un proceso de legalización que tiene un peso muy importante.

Se deben tener en cuenta los trámites administrativos que legalizan y permiten las instalaciones solares, siendo este proceso largo y lento.

En las instalaciones de placas fotovoltaicas aparecen nuevas disposiciones legales, como el Código Técnico de la Edificación (CTE) o las ordenanzas municipales, así como el trámite de licencia de actividad o el registro industrial. Todo ello, incrementa la documentación y la burocracia a cumplir.

Los plazos de ejecución del proyecto divide en fases: Lanzamiento, Ejecución, Verificación y Explotación.

A continuación se va a programar la duración en semanas de cada fase del proyecto. Cabe destacar que hay actividades que pueden empezar a ejecutarse antes de que hayan acabado las anteriores.

Lanzamiento: 14 semanas

- Estudio de viabilidad (4 semanas)
- Proyecto técnico (4 semanas)
- Punto de conexión (6 semanas)

Ejecución: 21 semanas

- Contrato de electricidad en régimen de balance neto (4 semanas)
- Licencia de obras (10 semanas)
- Ejecución del proyecto de instalación (10 semanas)
- Certificación de la instalación (1 semanas)

Legalización: 12 semanas

- Licencia de actividad (8 semanas)
- Inclusión en el régimen de balance neto (4 semanas)



- Obtención de autorización administrativa (12 semanas)
- Autorización de puesta en servicio (4 semanas)
- Tramitación inscripción registro de instalaciones de balance neto (4 semanas)

Verificación y explotación: 3 semanas

- Verificación equipos de medida (2 semanas)
- Emisión del certificado de cumplimiento (1 semanas)
- Inscripción definitiva en el registro de instalaciones de balance neto (1 semanas).

Total en semanas de todo el proceso: 50.

En el Anexo C, se detallan las actividades y duraciones de cada una, representadas en el diagrama de Gantt.

10. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACION

El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es mínimo, de carácter preventivo y correctivo; no tiene partes móviles sometidas a desgaste, ni requiere cambios de piezas ni lubricante. Aun así, se considera recomendable realizar revisiones periódicas de las instalaciones, para asegurar que todos los componentes funcionan correctamente.

Dos aspectos a tener en cuenta son, por un lado, asegurar que ningún obstáculo haga sombra sobre los módulos, y por el otro, mantener limpia la parte expuesta a los rayos solares de los módulos fotovoltaicos.

Las pérdidas por suciedad pueden llegar a ser de un 5%, y se pueden evitar rebajar con una limpieza de agua.

En el caso de lluvia o nieve, la propia inclinación de la estructura de las lonas evacuará el agua hacia los canalones de agua. Si hay hielo, usar un raspador de madera, evitando material metálico.

Los sistemas fotovoltaicos tienen muy pocas posibilidades de avería, especialmente si la instalación se ha realizado correctamente. Básicamente las posibles reparaciones que puedan ser necesarias son las mismas que cualquier aparato o sistema eléctrico al alcance de un electricista.

Las principales operaciones de mantenimiento preventivo:

- Revisar el cableado, aspectos mecánicos, eléctricos y de limpieza.
- Realizar calibración de equipos de regulación y control.

Mantenimiento correctivo:

Son operaciones realizadas como consecuentes de la detección de cualquier anomalía en el funcionamiento de las instalaciones, en el plan de vigilancia o en el mantenimiento preventivo.

Este tipo de instalaciones no necesita ningún tipo de combustible ni consumible, por lo que los residuos tanto ahora como en el futuro son inexistentes. Lo mismo ocurre con la contaminación medio ambiental de este tipo de instalaciones. Al ser una energía renovable, la única contaminación existente es la visual, aunque esta es mucho menor que la producida por las plantas de generación de energía eólica.

11. ESTUDIO DE IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA INSTALACION

En la actualidad el impacto ambiental sobre el ecosistema de nuestro planeta ha cobrado mucha importancia. La preocupación por las consecuencias ambientales, sociales y económicas ha ido creciendo a lo largo de los años, además de los compromisos en los acuerdos del Protocolo de Kyoto sobre el consumo y generación de energía. Todo ello ha llevado a la sociedad a querer desarrollar las energías renovables para que estas puedan ser más eficientes.

Uno de los aspectos más positivos de la instalación fotovoltaica proviene de la ausencia de emisiones contaminantes a la atmosfera, evitando así, el efecto invernadero, la lluvia ácida y la reducción de la capa de Ozono.

La energía solar fotovoltaica, es una energía renovable, por lo tanto, es una fuente de energía gratuita e inagotable, además, es más respetuosa con el medioambiente que el resto de energías convencionales. Esto se debe a que sobre el medio físico no existen afecciones, ni sobre la calidad del aire, ni sobre suelos, como tampoco se producen ruidos, ni vibraciones, ni se afecta a la hidrología del entorno.

Las instalaciones fotovoltaicas tienen carácter autónomo y descentralizado, lo que presenta serias ventajas a la hora de conseguir un desarrollo sostenible.

En el estudio ambiental se pueden diferenciar claramente dos grandes fases: la de construcción o montaje, y la de operación o explotación de la instalación.

Fase de construcción de los módulos

A la hora de fabricar los módulos fotovoltaicos se utilizan materiales como el silicio (cristalizado y amorfo), germanio, selenio, AsGa, seleniuro de cobre (SeCu y SeCuGa), sulfuros diversos y óxidos de cobre, entre otros. Durante esta fabricación se producen emisiones de TeCd, B₂H₆, BCl₃, H₂, HF, SeH₂, Sh₂, CH₄, PH₃, POCl₃, P₂O₅, entre otros y vapores metálicos, algunos tóxicos.

Fase de producción de energía

- Operación o funcionamiento de la instalación:

Esta fase se caracteriza por el ahorro de emisiones de CO₂, que se produce al generar energía eléctrica a partir de la energía solar. Durante la vida útil de la instalación no se producen ni ruidos ni vibraciones.

Inventario ambiental

Medio físico

- Suelo: en el caso de instalación fotovoltaica sobre cubierta no se producen zanjas en el suelo para la cimentación ni cableado.
- Aguas superficiales: no se producirán ningún tipo de vertidos a ríos, arroyos y otro tipo de cursos fluviales adyacentes a la instalación.
- Aire: provocara un efecto beneficioso, no nocivo en cuanto a emisiones se refiere, ya que las instalaciones fotovoltaicas no emiten CO₂.

Medio biótico

- Vegetación: debido a la instalación sobre cubierta de nave industrial, no afecta a la vegetación.
- Fauna: no quedara afectada.

Impacto percibido

- Impacto visual: solamente aéreo
- Empleo: existe una pequeña creación de empleo durante el montaje y continúa con el posterior mantenimiento de la instalación.

11.1. Reducción de las emisiones de gases

En este apartado se van calcular las emisiones con esta nueva instalación fotovoltaica.

Para ello se han cogido los factores de emisiones derivadas del consumo eléctrico de producción nacional para el año 2013 (diciembre), del boletín del Observatorio de la Electricidad de ADENA-WWF.

La reducción anual de emisiones contaminantes por cada kWh producido por energía solar es de:

- CO₂: 0,65 kg/kWh

También se puede observar la cantidad de árboles que se necesitan para poder limpiar el total de las emisiones.

Dado que España firmo el protocolo de Kyoto, está obligada a reducir el número de emisiones de gases contaminantes. El hecho de no cumplir esta cantidad de emisiones, supone una multa. Existen unos acuerdos entre países que permiten la compra de los llamados “créditos”, son cantidades de emisiones que se compran unos a otros. Puesto que hay países que les sobran y a otros que les faltan, respecto al protocolo de Kyoto, está permitida su compra y venta. España lleva varios años

comprando créditos a diferentes países, como media, tiene que pagar 4,8€/tonelada de CO₂ emitido.

En la siguiente tabla 11.1. aparecen los resultados de la cantidad de emisiones de CO₂ por la energía consumida.

Polígono	Energía consumida	Cantidad CO ₂ emitida (Kg)	Árboles para limpiar (0,33 árboles/kg CO ₂)	Total a pagar por España (€)
LLEIDA	11.278.674	7.331.138	2.419.276	35.189,46 €
EL CAMP	7.681.643	4.993.068	1.647.713	23.966,73 €
TOTAL	18.960.318	12.324.207	4.066.988	59.156,19 €

Tabla 11.1. Tabla de emisiones y coste de ellas con el consumo inicial de energía

En esta siguiente tabla 11.2. se puede observar el ahorro en emisiones de CO₂ con toda la energía producida por fotovoltaica.

Tipo de Módulo	Polígono	Energía producida	Ahorro CO ₂ emitida (Kg)	Ahorro árboles necesarios para limpiar (0,33 árboles/kg CO ₂)	Total ahorro por España (€)
Producto 1 PVL-144	LLEIDA	7.284.926	4.735.202	1.562.617	22.728,97 €
	EL CAMP	4.897.013	3.183.058	1.050.409	15.278,68 €
	TOTAL	12.181.938	7.918.260	2.613.026	38.007,65 €
Producto 2 PVL-136	LLEIDA	7.863.094	5.111.011	1.686.634	24.532,85 €
	EL CAMP	5.285.664	3.435.682	1.133.775	16.491,27 €
	TOTAL	13.148.759	8.546.693	2.820.409	41.024,13 €

Tabla 11.2. Tabla de ahorro de emisiones y coste con energía fotovoltaica

Por último, en la tabla 11.3. aparece el resumen se especifican las emisiones totales y el total que paga España por dichas emisiones

Tipo de Módulo	Polígono	Cantidad CO ₂ emitida (Kg)	Árboles necesarios para limpiar (0,33 árboles/kg CO ₂)	Total a pagar por España (€)
Producto 1 PVL-144	LLEIDA	2.595.937	856.659	12.460,50 €
	EL CAMP	1.810.010	597.303	8.688,05 €

	TOTAL	4.405.947	1.453.962	21.148,54 €
Producto 2 PVL-136	LLEIDA	2.220.127	732.642	10.656,61 €
	EL CAMP	1.557.386	513.938	7.475,45 €
	TOTAL	3.777.513	1.246.579	18.132,06 €

Tabla 11.3. Tabla de diferencia de emisiones y coste

11.2. Recuperación energética

La tasa de recuperación energética es el tiempo que se tarda en recuperar aquella energía que ha sido necesaria para la producción de los módulos fotovoltaicos.

En España una placa solar tarda dos años en recuperar la energía usada en su fabricación, esto se contrasta con Berlín, por ejemplo, que tarda unos tres años o en Sídney que tarda menos de dos. La producción de esta energía limpia depende del número de horas de sol que recibe la ciudad, ya que dentro de España tampoco es lo mismo instalarla en Córdoba que tardara menos tiempo que en Bilbao que tardará más.

El silicio es el segundo material más abundante de la corteza terrestre después del oxígeno, y es la principal materia prima utilizada en la fabricación de placas solares. Este material no es ni tóxico ni contaminante, pero durante la producción de las placas puede usar metales pesados como el plomo (para las soldaduras).

En el caso de las células de capa fina, hay que tener en cuenta que para su fabricación se utilizan pequeñas cantidades de cadmio que si pueden causar algún problema tóxico.

Se deben tomar medidas de seguridad muy controladas además de poner en marcha un tratamiento de reciclaje o de residuos de las placas solares al final de su vida útil.

Para conocer la tasa de recuperación energética de la célula fotovoltaica hay que tener en cuenta los procesos de fabricación en los que se consume una mayor energía: la purificación del silicio y la cristalización. El objetivo principal es conseguir cambios radicales en estos dos procesos, y de esta manera, en un futuro las placas solares podrían recuperar esa energía en menos de un año.

La tecnología de las células de silicio normales no ha cambiado radicalmente durante los últimos años, pero lo cierto es que se está mejorando mucho en la eficiencia y en la forma de fabricarlas, lo que ayuda sin duda a compensar más rápidamente esa energía utilizada en su producción. En lo que se refiere a la mejora de eficiencia se ha pasado de un 7-8% de rendimiento de hace 50 años a un 15-16%, e incluso a un 20% en eficiencia industrial.

En el siguiente cuadro (tabla 11.4) se comparan dos ciudades españolas con una alemana los siguientes conceptos: la irradiación solar, la producción anual, el tiempo de recuperación energética en años, la tasa de retorno energético en número de veces y el potencial de las placas para la mitigación de toneladas de CO₂, es decir, las emisiones de dióxido de carbono que se evitan utilizando la energía del Sol.

Barcelona	Irradiación horizontal global 1446 kWh/m²	
	Cubiertas	Fachadas
Producción anual (kWh/kWp)	1193	759
Tiempo de recuperación energética (años)	2,12	3,33
Tasa de retorno energético (en número de veces)	13,2	8,0
Potencial para la mitigación de CO ₂ (tCO ₂ /kWp)	15,895	10,115

Madrid	Irradiación horizontal global 1660 kWh/m²	
	Cubiertas	Fachadas
Producción anual (kWh/kWp)	1394	884
Tiempo de recuperación energética (años)	1,81	2,86
Tasa de retorno energético (en número de veces)	15,6	9,5
Potencial para la mitigación de CO ₂ (tCO ₂ /kWp)	18,579	11,778

Berlín	Irradiación horizontal global 999 kWh/m²	
	Cubiertas	Fachadas
Producción anual (kWh/kWp)	839	584
Tiempo de recuperación energética (años)	3,01	4,32
Tasa de retorno energético (en número de veces)	9,0	5,9
Potencial para la mitigación de CO ₂ (tCO ₂ /kWp)	14,445	10,060

Tabla 11.4. Ejemplos de recuperación energética de tres ciudades

12. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha estudiado la aplicación de la tecnología fotovoltaica de capa fina con silicio amorfo en las naves industriales del sector logístico de dos polígonos de Cataluña. El estudio se ha realizado con dos productos de diferente potencia cada uno con el objetivo de proyectar los módulos sobre las cubiertas de dichas naves en la provincia de Lleida y de Tarragona y, de esta manera, conocer la capacidad productiva de las mismas con el fin del autoconsumo.

En cuanto a los resultados obtenidos, el producto 1 con una potencia de 144Wp produce mayor cantidad de energía por instalación que el producto 2 con 136Wp, aunque la mayor diferencia entre los dos es la superficie mínima que necesita una instalación según el tipo de producto. El producto 1 necesita 3.700m² mientras que el producto 2 necesita 2.500m², por lo tanto con el producto 2 se podrán instalar un mayor número de instalaciones fotovoltaicas y como resultado se producirá más energía. Con el producto 2 se obtiene una producción de energía de 7,863MWh/año en el polígono de Lleida y de 5,285MWh/año en el polígono de Reus (Tarragona) (un total de 13,148MWh/año). Estos valores corresponden a un 70% y 69% respectivamente sobre el consumo energético real de cada polígono.

En el análisis económico se ha realizado con el producto 2 (PVL-136) ya que es el que produce mayor cantidad de energía puesto que se instalan un mayor número de instalaciones de 100kW. Se ha diferenciado las siguientes hipótesis, en el caso que la reducción de la factura de las empresas de las naves fuera nula, el retorno de la inversión sería de 6 años, (realizando los cálculos para el total del polígono CIM Lleida y CIM El Camp). Mientras que a medida que se les pone una reducción del 10%, 20%, 30%, 40% y 50% este periodo de retorno aumenta, siendo 7, 8, 10, 14 y 22. Para una reducción de más del 50%, es decir, del 60% o 70% la rentabilidad ya no es viable puesto que en el caso del 60% el retorno supera la vida útil de la instalación, según cálculos, salen unos 40 años, mientras que la vida útil son 30. En el caso del 70% directamente no es rentable.

En un segundo cálculo, se ha realizado la estimación del periodo de retorno en el supuesto caso que hubiera peajes de respaldo. A día de hoy no están vigentes aunque se está hablando mucho de ellos, y por ello, en este proyecto se han obtenido los resultados. Se ha supuesto un peaje de 0,06€/kWh producido. Si no se hace ninguna reducción en la factura, el periodo de retorno para el producto 2 es de 9 años. Si se estima una reducción en la factura del 10% y 20% el periodo de retorno aumenta a 12 y a 18 años respectivamente. En el caso de reducir un 30% el periodo de retorno ya supera la vida útil de la instalación y para reducciones mayores al 30%, es decir, 40%, 50%, 60% y 70% el proyecto ya no es rentable desde un principio.

A nivel técnico y económico la instalación más viable es la del producto 2 para los dos polígonos. Hay que tener en cuenta otros aspectos que también tienen un papel importante en cuanto a la instalación. Por un lado, la actual crisis económica y

financiera dificulta la obtención de financiación, por otro lado, la incertidumbre en la legislación de las energías renovables, que al parecer, se está yendo por el camino contrario que es el de los “peajes”.

Respecto a la cantidad de emisiones de CO₂ con el producto 2 que se dejarían de emitir a la atmosfera, se han obtenido los siguientes valores: 5,111ton en Lleida y 3.436ton en Reus (un total de 8,547ton CO₂). Estos valores son los que ratifican una vez más el potencial de la tecnología solar fotovoltaica y pone en manifiesto los beneficios medioambientales, sociales, económicos, estratégicos y culturales.

La tecnología fotovoltaica ha avanzado mucho en los últimos años a favor del autoconsumo y, otro punto muy importante es la necesidad de reducir emisiones de CO₂ a la atmosfera, gracias al autoconsumo se podrían alcanzar los objetivos de reducción de emisiones firmados en tratados como el protocolo de Kyoto. En la actualidad, España no está cumpliendo los objetivos marcados en este tratado, por lo que tiene que pagar una multa de emisiones, se podría valorar, que este dinero gastado, se invirtiera en primas a las energías renovables, una solución en la que todos ganaríamos.

13. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer la dirección del proyecto a mi tutor Emilio Hernández por su implicación en el mismo y por haberme dado la oportunidad para realizar este proyecto y aprender de él. Además agradezco el haber estado en contacto sobre cualquier duda que ha podido surgir.

Como parte importante en el proyecto, tengo que agradecer a Carolina Guerrero, jefa de Proyectos y Obras de CIMALSA, por haberme proporcionado los datos de los polígonos sobre los que se ha hecho el estudio.

También me gustaría agradecer a familiares y amigos que me han seguido durante este trabajo final de carrera dándome consejos y ayudándome para poder haber llegado hasta aquí.

14. BIBLIOGRAFIA

[1] Real Decreto Ley 1/2012 [1], de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de pre asignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de la cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.

[2] Real Decreto-Ley 20/2012, vigente desde el 1 de enero de 2014, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de pre-asignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para las nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía y residuos.

[3] Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero.

[4] Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética.

[5] Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.

[6] Real Decreto-ley 14/2010 [6], de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico.

[7] Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

[8] Real Decreto-ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.

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

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

[11] El artículo 9 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.

[12] Pliego de condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. (IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía),

[13] Código Técnico de la Edificación (CTE), año 2006, Ministerio de Fomento.

[14] Comisión Europea <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>



[15] Informe 19/2013 de la CNE sobre la propuesta de real decreto por el que se establece la regulación de las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.

[16] PFC para la titulación de Ingeniería Industrial: “Aplicación de la tecnología fotovoltaica flexible en un grupo de empresas del sector de la automoción”.