

# Proyecto AQUAMAC

MAC 2.3/C58

## Paquete de tareas P1.PT1

PROPUESTAS DE ACCIÓN PARA OPTIMIZAR LA AUTOSUFICIENCIA  
ENERGÉTICA DE LOS CICLOS DEL AGUA

### Tareas PT1-T1

Establecimiento de metodología y especificaciones técnicas  
para los estudios de potencial y auditorías energéticas.  
Localización de los ámbitos de trabajo por parte de los socios

### Entregable 3

**Guía para la realización de estudios de  
viabilidad técnico-económica de instalaciones  
de aprovechamiento de la energía solar  
fotovoltaica como apoyo a los ciclos del agua**

Entidad responsable: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.

Fecha realización: Septiembre 2003

Fecha última actualización: 9 de Febrero de 2004

1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	El proyecto AQUAMAC .....	3
1.2	Binomio Agua – Energía .....	3
1.3	Introducción a la Energía Solar Fotovoltaica .....	5
1.4	Normativa y legislación vigente.....	7
1.5	Antecedentes del aprovechamiento de la energía fotovoltaica en Azores, Madeira y Canarias.....	11
2	OBJETO Y CONTENIDOS DE LA GUÍA .....	12
3	CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO .....	12
4	FORMAS DE CONEXIÓN .....	13
4.1	Instalaciones fotovoltaicas aisladas de red .....	14
4.2	Instalación fotovoltaica conectada a la red de baja tensión.....	16
5	CÁLCULO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA INYECTADA POR UN SISTEMA CONECTADO A RED.....	17
5.1	Radiación.....	18
5.2	Inclinación óptima .....	19
5.3	Aplicación para una instalación fotovoltaica de 5 kWp.....	22
5.3.1	Características eléctricas del módulo .....	22
5.3.2	Número de módulos .....	22
5.3.3	Producción del campo fotovoltaico .....	23
5.3.4	Energía eléctrica exportada a la red.....	23
6	ESTUDIO ECONÓMICO.....	24
6.1	Estudio económico-financiero.....	24
6.2	Inversión necesaria .....	25
6.3	Ingresos para las instalaciones de conexión a la red eléctrica en España y en Portugal.....	26
6.3.1	Venta de energía en España y en Portugal .....	26
6.3.2	Normativa en España.....	26
6.4	Coste anual de mantenimiento.....	28
6.5	Subvenciones .....	29
6.5.1	Subvenciones en Canarias .....	29
6.6	Aspectos fiscales .....	34

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 El proyecto AQUAMAC

Este proyecto titulado TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA MACARONESIA ha sido aprobado en el marco de la Iniciativa Comunitaria INTERREG III B, Espacio **Açores-Madeira-Canarias**. En él participan socios como *Investimentos e Gestão da Água, S.A.* (Madeira), *Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos* (Açores), *Mancomunidad del Norte de Tenerife*, *Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria*, *Consejo Insular de Aguas de Lanzarote*, *Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria*, *Universidade da Madeira* y el *Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.* como Jefe de Fila.

Dentro de dicho proyecto, uno de los paquetes de tarea contemplados es: "*Propuestas de acción para optimizar la autosuficiencia energética de los ciclos del agua*". Dicho paquete de tareas se concretó en estudiar medidas de gestión y eficiencia energética, así como la sustitución de fuentes de energías convencionales (red eléctrica general) por el aprovechamiento de energías renovables asociadas al ciclo del agua (minihidráulica) o en las instalaciones vinculadas con los abastecimientos (estaciones de bombeo, edificios, captaciones, líneas de conducción, plantas de producción y tratamiento de aguas,...) y potenciar la minimización de la factura energética de los ciclos integrales de agua. El objetivo final de este paquete de tareas es demostrar las posibilidades de mejora de la eficiencia y autonomía energética de nuestros sistemas insulares de gestión de aguas y promover el intercambio de experiencias en toda la Macaronesia.

### 1.2 Binomio Agua – Energía

La gestión del agua en nuestras sociedades requieren cada vez más recursos energéticos para acciones como la captación de aguas de pozos y sondeos, el transporte y distribución hasta los puntos de consumo, así como para su tratamiento en los sistemas

de depuración convencionales. A medida que las demandas de agua se incrementan y se extienden a zonas cada vez más amplias y con menos recursos, se hace necesario introducir las tecnologías de desalación de agua de mar. Por otro lado, el deterioro de la calidad de los recursos subterráneos y la necesidad de reutilización de las aguas depuradas en algunas zonas requiere introducir sistemas de desalinización para posibilitar su aprovechamiento.

Todo este sistema puede llegar a suponer unos costes energéticos (y económicos) muy importantes para los sistemas de abastecimiento. Quizás el caso más extremo de esta situación se vea reflejado en algunas de las Islas Canarias, donde se puede establecer casi una equivalencia directa entre barriles de petróleo y agua potable disponible. La gestión del agua en nuestras sociedades requiere cada vez más recursos energéticos destinados a acciones como: la captación de aguas de pozos y sondeos, el transporte y distribución hasta los puntos de consumo, así como para su tratamiento en los sistemas de depuración convencionales. A medida que las demandas de agua se incrementan y se extienden a zonas cada vez más amplias, los recursos naturales renovables y no renovables son incapaces de satisfacerlas, y se hace necesario por tanto, introducir recursos exógenos. Estos recursos vienen de la mano de las tecnologías de desalación de agua de mar y de la recuperación de recursos subterráneos de calidad deficiente introduciendo sistemas de desalinización.

Haciendo un pequeño ejercicio de cálculo, podríamos trasladar estas demandas a equivalentes en energía: Conociendo el consumo específico de los sistemas eléctricos de cada una de las islas, se pueden establecer equivalencias entre m<sup>3</sup> de agua y toneladas métricas (Tm) del fuel-oil que es necesario importar y quemar cada año para producir y gestionar el agua demandada. Esta situación pone en constante riesgo la sostenibilidad de muchos sistemas de abastecimiento de agua. Pero por otra parte, el agua también

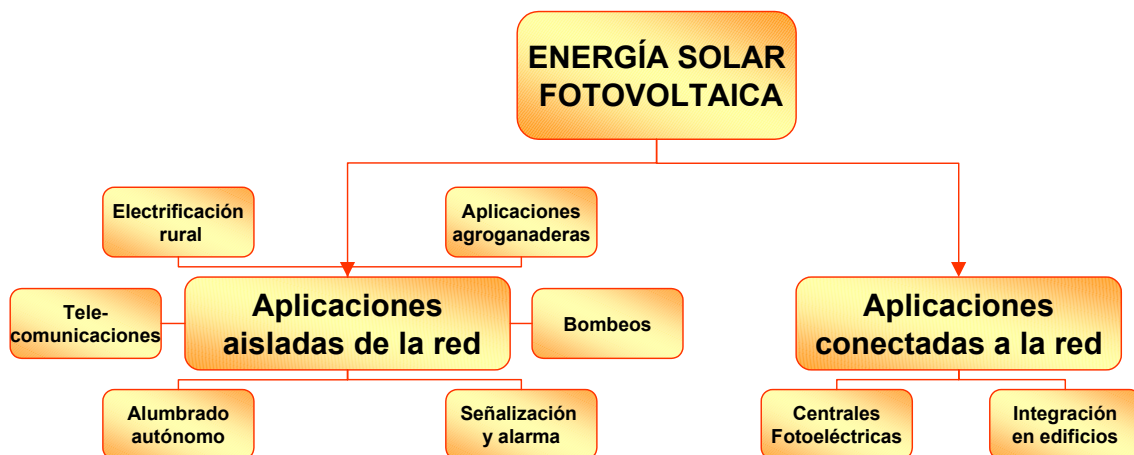
puede ser fuente de energía como así se destaca en Madeira, Azores y algunas de las islas Canarias.

Es por ello que resulta interesante desde el punto de vista estratégico, profundizar en las posibilidades de eficiencia y ahorro energético en la gestión del agua, así como en el máximo aprovechamiento de las energías renovables endógenas.

### 1.3 Introducción a la Energía Solar Fotovoltaica

La energía Solar Fotovoltaica es un tipo de energía solar basada en la aplicación del efecto fotovoltaico. Éste se produce al incidir la luz sobre unos materiales llamados semiconductores. De ésta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica.

Las aplicaciones son diversas y prácticamente universales no obstante se puede plantear el siguiente esquema de aplicaciones:



Los módulos estándar se utilizan en edificaciones ya construidas. Aunque el marco impide una integración fácil y acorde con el tejado o fachada de una edificación, eliminando dicho marco y utilizando los denominados paneles laminados, se amplían

las posibilidades de integración. Se pueden, incluso, incorporar en las ventanas del edificio dada su similitud con los paneles de cristal.

Desde el punto de vista estético las células de silicio monocristalino son de color oscuro (gris, azul, negro); las de policristalino azules y las de silicio amorfo de color rojizo.

El incremento del interés en este tipo de aplicaciones fotovoltaicas ha generado nuevas opciones de comercialización de módulos fotovoltaicos y existen desarrollos específicos para su integración en tejados, como son las “tejas fotovoltaicas”.

Todos estos aspectos facilitan la incorporación de la fotovoltaica al ciclo integral del agua ya que cualquier edificio relacionado (edificios de oficinas, depósitos, etc.,) puede albergar energía solar fotovoltaica.

En resumen, en un edificio existen varios lugares para instalar un panel fotovoltaico:

- En *cubierta*, con inclinación y orientación adecuada, se pueden instalar los módulos fotovoltaicos sobre la misma cubierta o mediante tejas fotovoltaicas o en cubierta plana integrados como elemento decorativo.
- En *fachada*, instalado sobre o en vez del muro o como elemento saliente con una cierta inclinación.
- En *superficie acristalada*, ventanas, diseñando los módulos para que dejen pasar la luz.

Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios tienen ventajas económicas ya que constituyen una parte del cerramiento del edificio y sustituyen el material convencional utilizado en fachadas o cubiertas. El coste de la fachada en un moderno edificio acristalado no dista mucho de una fachada fotovoltaica.

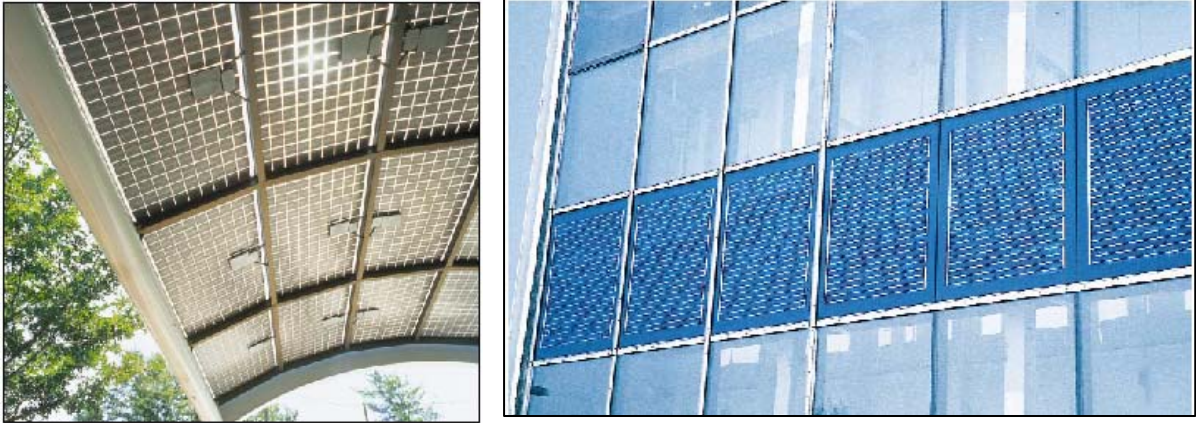


Figura 1. Ejemplos de integración arquitectónica

#### **1.4 Normativa y legislación vigente**

Tanto en España como en Portugal existe legislación vigente para el fomento o regularización del uso de las energías renovables. A continuación se expone un corolario de la normativa vigente.

En el caso español la *Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico* establece los principios de un nuevo modelo de funcionamiento basado en la libre competencia, impulsando también el desarrollo de instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Por su parte en el *Real Decreto 436/2004 de 12 de marzo*, se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, este real decreto tiene por objeto el desarrollo reglamentario en lo que se refiere al régimen especial, de la Ley 54/1997 de 27 de noviembre, del Sector eléctrico. Y, por lo tanto, pretende continuar el camino

iniciado con el *Real Decreto 2818/1998 de 23 de diciembre*, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos o cogeneración.

Otras normativas de aplicación son las siguientes:

- **Real Decreto 1663/2000**, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- **Real Decreto 841/2002**, de 2 de agosto, por el que se regula para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial su incentivación en la participación en el mercado de producción, determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción, y la adquisición por los comercializadores de su energía eléctrica producida.

La producción de energía eléctrica utilizando fuentes de energía renovables, como la fotovoltaica, tiene la consideración de producción en régimen especial. Ello implica que se rige por unas disposiciones específicas que incluyen unos derechos y obligaciones.

Entre los principales derechos se encuentran:

- Conectar en paralelo su grupo o grupos generadores a la red de la compañía eléctrica distribuidora o de transporte.
- Transferir al sistema a través de la compañía eléctrica distribuidora o de transporte su producción o excedentes de energía eléctrica, siempre que técnicamente sea posible su absorción por la red.
- Percibir por su producción o excedentes de energía eléctrica la retribución prevista en el régimen económico de este real decreto.



La producción de energía eléctrica mediante renovables se impulsa mediante la creación de un marco favorable, que incluye un sistema de primas que permite situarse en posición de competencia en el mercado libre. Esta circunstancia posibilita que se puedan aprovechar superficies ligadas al ciclo integral del agua, como por ejemplo cubiertas de depósitos de agua, edificios en depuradoras, plantas de potabilización, desaladoras, estaciones de bombeo, etc., para la producción de energía eléctrica por sistemas fotovoltaicos y ligar los rendimientos que se produzcan por la venta de energía eléctrica a la sostenibilidad de la gestión del agua.

En el caso de Portugal aún no existe un sistema de primas específicos para las instalaciones fotovoltaicas aunque se están dando pasos para el desarrollo futuro de los sistemas conectados a la red eléctrica.<sup>1</sup>

A continuación se expone la reglamentación que puede ser de aplicación en Portugal:

- **Decreto-Lei nº 189/88** de 27 de mayo sobre *Produção de Energia Eléctrica: Regime Especial – Renováveis*. Establece el regime de produção de energia eléctrica por produtores independientes, no âmbito das energias renováveis.
- **Decreto-Lei nº 168/99** de 18 de mayo sobre *Produção de Energia Eléctrica: Regime Especial – Renováveis*. Altera algunas disposiciones del Decreto-Lei n.º 189/88, de 27 de Maio.

---

<sup>1</sup> En el portal portugués <http://www.energiasrenovaveis.com> se expresa lo siguiente: *A título de curiosidade, apenas com a área disponível em coberturas de edifícios em Portugal, seria possível produzir toda a electricidade que consumimos através de equipamento fotovoltaico. A implantação de 60 m<sup>2</sup> de fotovoltaico, nos cerca de 3.1 milhões de edifícios residências, resultariam em cerca de 33200 GWh/Ano (consumo em 1995), rebatendo assim a falsa ideia de que uma contribuição substancial de solar fotovoltaico necessitaria da ocupação de uma área enorme, com grandes custos emergentes dessa mesma ocupação.*

- **Decreto-Lei nº 339-C/2001** de 29 de diciembre sobre *Produção de Energia Eléctrica: Regime Especial – Renováveis*. Altera el **Decreto-Lei nº 168/99**, de 18 de Mayo, que *revê o regime aplicável à actividade de produção de energia eléctrica, no âmbito do sistema eléctrico independente*.
- **Decreto-Lei Nº 68/2002 de 25 de Março y Portaria nº. 764/2002, de 1 de Julho**, sobre *Produção de energia eléctrica: Baixa Tensão*. Se establece o tarifário aplicável às instalações de produção de energia eléctrica em baixa tensão, licenciadas ao abrigo do Decreto-Lei nº 68/2002, de 25 de Março. (Al menos el 50% de la energía eléctrica debe ser destinada al consumo propio o de terceros).

## 1.5 Antecedentes del aprovechamiento de la energía fotovoltaica en Azores, Madeira y Canarias

La energía solar fotovoltaica en las islas de Açores, Madeira y Canarias no ha alcanzado un gran desarrollo, debido por una parte a su alto coste y, por otro, al elevado nivel de electrificación alcanzado en las islas. Una gran parte de la potencia instalada se dedica a electrificación rural y, el resto, a alumbrado público, sistemas de bombeo, etc. Por otro lado de Madeira y Açores prácticamente no existen datos.

En Canarias es donde mayor radiación se obtiene de los tres archipiélagos y dónde ha habido un mayor desarrollo de la utilización de este tipo de energía, aunque todavía es marginal. La tabla siguiente muestra la potencia instalada, tanto conectada a red como en aislado a final de 2003:

ISLA	Potencia	Potencia	Potencia	Potencia en funcionamiento a 31/12/03			Potencia
	Instal. años	Instalada	Instalada	Aislada	Conectada		en trámite
	anteriores	año 2002	año 2003	de red	a red	Total	a 31/12/03
Gran Canaria	115,901	55,435	51,748	84,134	138,95	223,084	90,235
Tenerife	80,649	5,16	50,247	117,856	18,2	136,056	10,258
Lanzarote	83,114	3,33	9,31	95,754	0	95,754	2,65
Fuerteventura	26,941	3,4	3,73	34,071	0	34,071	0
La Palma	54,084	5,225	0,75	29,619	30,44	60,059	0
El Hierro	9,983	1,3	0,93	12,213	0	12,213	0
La Gomera	11,525	0	0	11,525	0	11,525	0
<b>Total Islas</b>	<b>293,693</b>	<b>73,85</b>	<b>116,715</b>	<b>385,172</b>	<b>187,59</b>	<b>572,762</b>	<b>103,143</b>

Se prevé a corto plazo un incremento significativo de la potencia fotovoltaica instalada sobre todo, en instalaciones conectadas a red, debido a las primas que se han establecido tanto el Portugal como en España.

## 2 OBJETO Y CONTENIDOS DE LA GUÍA

El objeto de la Guía es aportar información básica sobre los pasos a seguir para realizar estudios de viabilidad técnico-económica de instalaciones fotovoltaicas asociadas a los sistemas integrados de gestión del agua.

En el documento se exponen los datos y herramientas necesarias para realizar un estudio de viabilidad técnico-económica relativa a las instalaciones de aprovechamiento fotovoltaico asociadas a los ciclos del agua.

En el apartado 3, 4 y 5, se dan algunas nociones técnicas sobre el diseño y cálculo de las instalaciones fotovoltaicas y en el apartado 6, se introduce la parte de viabilidad económica.

## 3 CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

El proceso de diseño de un sistema fotovoltaico comienza con la selección de la localización y el análisis del tipo de edificio a utilizar evaluando la aplicabilidad del mismo para la producción de electricidad según varios factores:

- Disponibilidad de radiación solar durante todo el año.
- Posibilidades del edificio. Estudio del área del tejado o fachada útil orientada hacia el sur. Posibilidad de cubierta con inclinación adecuada. Fachada acristalada. Posibles sombreados parciales en la actualidad y posibilidad de futuras sombras debido a nuevos edificios, antenas, etc.

Dependiendo de la aplicación, de los criterios de diseño y considerando las necesidades energéticas concretas se elegirá el módulo adecuado. Dependiendo de la ubicación de los módulos (orientación, inclinación, sombreado) y de las características eléctricas de éstos, se determina el número necesario de módulos a instalar.

Es importante:

- Evitar el sombreado de los módulos.
- Potenciar la ventilación de la cara posterior de los módulos para disminuir su temperatura que influye en el rendimiento.
- Evitar problemas de condensación.
- Garantizar el acceso a la instalación para su mantenimiento.

## 4 FORMAS DE CONEXIÓN

Existen dos posibilidades de conexión de los paneles fotovoltaicos, uno sería que el sistema esté aislado y otro que esté conectado a la red eléctrica.

Los sistemas aislados, por el hecho de no estar conectados a la red eléctrica, normalmente están equipados con sistemas de acumulación de la energía producida. La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía sólo en las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche. Durante la fase de insolación es, por tanto, necesario prever una acumulación de la energía no inmediatamente utilizada, que es proporcional a la carga cuando la energía disponible es reducida e incluso nula.

Una configuración de este tipo implica que el campo fotovoltaico debe estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y de la recarga de las baterías de acumulación.

Los sistemas conectados en red, en cambio, normalmente no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica; al contrario, durante las horas de insolación escasa o nula, la carga viene alimentada por la red. Un sistema de este tipo, desde el punto de vista de la

continuidad de servicio, resulta más fiable que uno no conectado a la red que, en caso de avería, no tiene posibilidad de alimentación alternativa.

La tarea de los sistemas conectados a la red es, por tanto, la de introducir en la red la mayor cantidad posible de energía.

La estructura física de un sistema fotovoltaico (aislado o conectado a la red) puede ser muy diferente, pero normalmente se pueden distinguir tres elementos fundamentales:

- **el campo fotovoltaico**
- **sistema de acondicionamiento de la potencia**
- **sistema de adquisición de datos.**

Es necesario tener en cuenta que en el caso especial de sistemas sin acumulación conectados en red, es la red misma la que desempeña la tarea de acumulador, de capacidad infinita. La *carga* la representa, en cambio, el usuario conectado a la red, como sucede en cualquier otro sistema “*grid connected*”.

#### **4.1 Instalaciones fotovoltaicas aisladas de red**

Un sistema autónomo de generación de electricidad puede resultar necesario por dos razones:

1. Por ser precisa una autonomía de abastecimiento total, como puede ser el caso de ciertas instalaciones que no pueden depender de una alimentación externa de energía, siempre sujeta a la posibilidad de averías, cortes de suministro, vulnerabilidad frente a sabotajes, etc.

2. Por no llegar hasta el lugar en que se precisa el consumo a la red general de distribución de electricidad (Por ejemplo depósitos de agua aislados con cloradores automáticos, bombes, depósitos o redes que necesitan sistemas de comunicación para ser controlados a distancia)

En el primer caso, habría que valorar todos los factores concretos que afecten a cada aplicación, teniendo en cuenta los condicionantes impuestos, tomando los responsables la decisión que consideren oportuna una vez analizadas toda la información y posibilidades.

En el segundo caso se tienen a su vez dos opciones claramente diferenciadas: optar por el tendido de una línea nueva de distribución desde el punto más cercano de la red general o renunciar a ésta e instalar un sistema autónomo.

Dado que el coste, en el supuesto de elegir la primera opción, debe ser íntegramente asumido por el solicitante de la línea, incluyendo el de todos los equipos de transformación necesarios, la cuestión quedará definida en función de la longitud de la línea que habría que tender, esto es, de la distancia al punto más cercano de la línea general ya existente.

Evidentemente, la ventaja que presenta una línea de distribución es que el consumo y la potencia pueden ser tan altos como se desee y permite el uso de cualquier aparato que funcione con electricidad. Sin embargo, existen muchas ocasiones en que sólo se necesita una potencia pequeña, que satisfaga una necesidad de consumo moderada, y no se precisan grandes potencias. Es en estos casos en los que la opción del generador autónomo resulta más interesante.

En cuanto a las ventajas de un sistema fotovoltaico frente a otros sistemas autónomos, como los tradicionales generadores eléctricos por combustible líquido, o los más

recientes aerogeneradores, han de buscarse en las excepcionales cualidades que los paneles presentan (pocas averías, mantenimiento mínimo, etc.).

En la práctica, el método de cálculo que se puede adoptar para comparar la rentabilidad de una instalación fotovoltaica frente a la alternativa de efectuar un tendido de red consiste en cuantificar la inversión necesaria en uno u otro caso, y si la correspondiente a la instalación fotovoltaica es sensiblemente menor que la tradicional, se aconseja inclinarse por ella. Si ambos presupuestos son de parecida magnitud es más interesante disponer de la red eléctrica, que asegurará cualquier consumo y en cualquier época del año, con la consiguiente comodidad.

## ***4.2 Instalación fotovoltaica conectada a la red de baja tensión***

Los elementos imprescindibles para el correcto funcionamiento de una instalación fotovoltaica conectada a la red de baja tensión son:

1. Generador fotovoltaico.
2. Inversor.
3. Cableado.
4. Aparamenta y protecciones.

Asimismo se deben tener en cuenta los elementos auxiliares como son el contador o contadores de energía, fusibles, sistema de monitorización, etc.

En la legislación española el *Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión* fija en su artículo 11 el sistema de protecciones que debe tener una instalación de estas características. Éstas son:



1. Interruptor general manual, que será un interruptor magnetotérmico con intensidad de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión.
2. Interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte con corriente continua de la instalación.
3. Interruptor automático de la interconexión, para la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia de la red, junto a un relé de enclavamiento.
4. Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (51 y 49 Hz respectivamente) y de máxima y mínima tensión (1,1 Um y 0,85 Um respectivamente).

Podrán integrarse en el equipo inversor las funciones de protección de máxima y mínima tensión y de máxima y mínima frecuencia y en tal caso las maniobras automáticas de desconexión-conexión serán realizadas por éste. En este caso sólo se precisará disponer adicionalmente de las protecciones de interruptor general manual y de interruptor automático diferencial.

Se deben tener en cuenta las características de los sistemas integrados en el inversor antes de diseñar la instalación, con el fin de evitar protecciones redundantes que supongan un mayor coste de la instalación

## **5 CÁLCULO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA INYECTADA POR UN SISTEMA CONECTADO A RED**

## 5.1 Radiación

Para el caso de Canarias, los datos de partida son las medidas de radiación solar del proyecto Mapa Solar de Canarias, del Instituto Tecnológico de Canarias, obtenidos a través de una red de más de 20 estaciones meteorológicas en las siete islas.

A partir de estos datos se ha elaborado la tabla de Horas de Sol Pico (HSP). Ésta resulta imprescindible tanto para efectuar el correcto dimensionado de futuras instalaciones.

Los valores tabulados corresponden a los promedios mensuales de irradiación global diaria recibida en cada m<sup>2</sup> de superficie horizontal, y están expresados en kWh/(m<sup>2</sup>·día).

Con estos datos del Mapa Solar, y efectuando correcciones en base a los datos de CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar) y del MINER para corregir las posibles desviaciones estadísticas por las limitaciones de los periodos de medición, se llega a los siguientes resultados:

### Zona Centro de las islas Canarias<sup>2</sup>:

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2,4	3,4	4,3	5,8	6,8	6,9	7,1	6,7	5,5	4,1	3,1	2,4

### Zona Norte de las islas Canarias<sup>3</sup>:

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
3,1	3,7	4,8	5,6	6,1	6,3	6,0	5,6	5,2	4,2	3,6	3,1

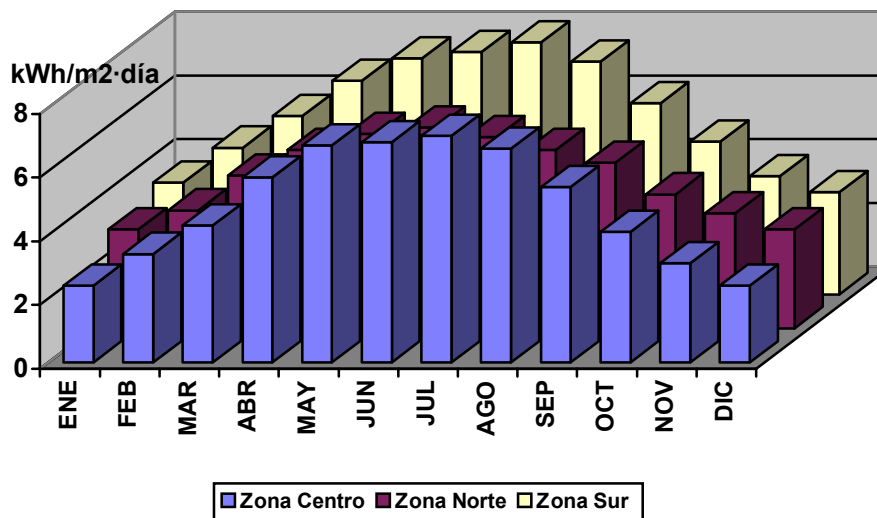
### Zona Sur de las islas , Lanzarote y Fuerteventura<sup>4</sup>:

<sup>2</sup> Estación representativa situada en San Cristóbal de La Laguna (Tenerife).

<sup>3</sup> Estación representativa situada en Las Palmas de Gran Canaria.

<sup>4</sup> Estación situada en el Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales (INTA) en Maspalomas, sur de Gran Canaria.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
3,5	4,6	5,6	6,7	7,4	7,6	7,9	7,3	6,0	4,8	3,7	3,2



## 5.2 Inclinación óptima

Para determinar el ángulo óptimo de inclinación, se procede al cálculo de la irradiación mensual, y a determinar la inclinación que maximiza la producción eléctrica anual.

La irradiación mensual en kWh/m<sup>2</sup> para cada uno de los emplazamientos tipo es la siguiente:

### Zona Centro de las islas:

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
75	95	133	175	210	207	221	208	164	126	92	73

### Las Palmas de Gran Canaria y Zona Norte de las islas:

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
96	104	148	167	188	188	185	172	156	130	107	95

**Zona Sur, Lanzarote y Fuerteventura:**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
109	127	172	202	229	229	244	225	179	149	111	99

Para determinar el ángulo óptimo se introduce un coeficiente de corrección de la irradiación en función de la inclinación, denominado factor de inclinación.

Para una latitud de 28°N y distintas inclinaciones de los paneles se obtiene el siguiente valor k de factor de inclinación:

Incl.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
15°	1,20	1,15	1,08	1,00	0,95	0,93	0,95	1,01	1,09	1,19	1,25	1,24
20°	1,22	1,15	1,07	0,98	0,92	0,89	0,92	0,99	1,09	1,20	1,27	1,27
25°	1,23	1,16	1,06	0,96	0,88	0,85	0,88	0,96	1,08	1,21	1,29	1,29
30°	1,24	1,15	1,04	0,92	0,84	0,80	0,84	0,93	1,06	1,21	1,33	1,30

Se aplicaría el factor de inclinación a los datos de irradiación mensual, obteniéndose los resultados de irradiación mensual (kWh/m<sup>2</sup>) sobre un módulo inclinado, para un emplazamiento concreto. En el caso de Las Palmas de Gran Canaria estos son los resultados:

Incl.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
15°	110	116	158	171	186	184	183	177	168	147	125	111
20°	112	118	160	171	183	179	180	175	170	151	129	114
25°	115	120	160	167	179	175	176	174	170	155	133	117
30°	117	120	158	164	173	168	170	170	170	156	135	120

El máximo anual se obtiene para una inclinación de  $20^\circ$  con un total anual de  $1.842 \text{ kWh/m}^2$ . Esta inclinación ( $20^\circ$ ) será la óptima. Para el resto de emplazamientos en Canarias se obtiene el mismo resultado.



Figura 2. Instalación fotovoltaica de 4,5 kW en la sede del ITC de Las Palmas de G.C.

### 5.3 Aplicación para una instalación fotovoltaica de 5 kWp

Se propone, como ejemplo, el cálculo de la producción eléctrica fotovoltaica para una instalación tipo de 5 kWp.

#### 5.3.1 Características eléctricas del módulo

Para ello se plantea la utilización de un módulo fotovoltaico construido con células cuadradas fotovoltaicas de silicio monocristalino de 6 pulgadas. Las características eléctricas del módulo en condiciones de prueba estándar (1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de cálculo 25°C y masa de aire de 1,5), son las siguientes:

Potencia (W en prueba 6 10%)	120 W
Número de células en serie	36
Corriente en punto de máxima potencia	7,1 A
Tensión en punto de máxima potencia	120 W
Corriente de cortocircuito	7,7 A
Tensión de circuito abierto	21 V

#### 5.3.2 Número de módulos

Para una potencia fotovoltaica aproximada de 5 kWp:

$$\text{n}^\circ \text{ de módulos} = \frac{5000}{120} = 41,7 \Rightarrow 40 \text{ módulos}$$

Esto representa una potencia de 4800 Wp.

### 5.3.3 Producción del campo fotovoltaico

Se obtiene multiplicando el número de *Horas de Sol Pico* (HSP) por la potencia pico del campo fotovoltaico.

Para una instalación de 4800 Wp, la generación mensual en kWh sería de:

<u>Emplaz.</u>	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Centro</b>	422	516	691	856	978	944	1028	1017	855	699	531	423
<b>Norte</b>	540	566	767	819	877	858	862	842	816	725	619	549
<b>Sur</b>	614	691	892	988	1064	1043	1137	1100	934	829	645	576

La producción en kWh/año es:

- Zona centro de las islas Canarias 8.961 kWh
- Zona norte de las islas Canarias 8.841 kWh
- Zona sur, Lanzarote y Fuerteventura 10.512 kWh

### 5.3.4 Energía eléctrica exportada a la red

En el apartado anterior se calculó la producción eléctrica fotovoltaica del campo de paneles. Sin embargo, la energía realmente exportada a la red eléctrica va a ser inferior debido a factores como las pérdidas eléctricas en cables de conducción y conexiones, y a las pérdidas en el inversor.

Se estiman unas pérdidas globales en el sistema del 25% de la energía aportada por el campo fotovoltaico. Por lo tanto el coeficiente global de rendimiento de la instalación será de 0,75.

Para una instalación de 4800 Wp, la energía inyectada a red en kWh sería de:

Emplaz.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Centro	317	387	518	642	733	708	771	763	642	524	399	317
Norte	405	424	576	614	658	644	647	632	612	544	464	412
Sur	460	518	669	741	798	782	852	825	700	621	484	432

La producción en kWh/año sería:

- Zona centro de las islas Canarias 6.721 kWh
- Zona norte de las islas Canarias 6.630 kWh
- Zona sur, Lanzarote y Fuerteventura 7.884 kWh

## 6 ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se detalla, primero cual va a ser el modelo seguido para realizar el análisis de viabilidad económica y, después, se describen los siguientes parámetros económicos: la inversión necesaria, los ingresos por venta de energía eléctrica de las instalaciones de conexión a la red eléctrica, los costes de mantenimiento, las subvenciones y los distintos impuestos que habría que considerar para realizar dicha instalación. Destacar que lo único que varía en las instalaciones conectadas a red y las de autoconsumo, son por un lado los ingresos a percibir y, por otro, los mayores gastos en que se incurre en las instalaciones aisladas ya que hay que tener en cuenta la batería.

### 6.1 Estudio económico-financiero

Para realizar el análisis de viabilidad económica se recurre a la teoría de finanzas comparativas llamada “Capital Asset Pricing Model” (CAPM), Modelo de Valoración



de Activos de Capital. El CAPM involucra la previsión de todos los flujos de caja de un proyecto de inversión, para luego descontarlos a su Valor Presente Neto.

Así se estiman los flujos de caja futuros que se pueden esperar con las distintas configuraciones.

## 6.2 Inversión necesaria

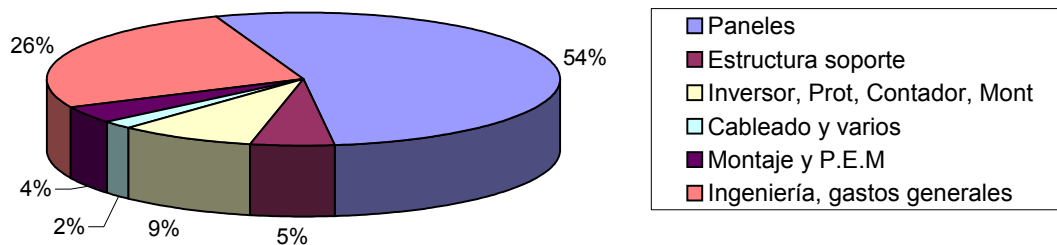
En el informe de octubre de 2003, la Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF) realizó la siguiente estimación del precio medio del Wp en instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red:

KWp	3	30	300
Paneles	3.54	3.45	3.15
Estructura soporte	0.38	0.37	0.30
Inversor, Prot, Contador, Mont	0.90	0.70	0.50
Cableado y varios	0.20	0.17	0.12
Montaje y P.E.M	0.44	0.39	0.25
Ingeniería, gastos generales	1.93	1.80	1.55
Total (euros)	7.39	6.88	5.88

Este precio es para las instalaciones conectadas a la red dependiendo de la potencia instalada, pero sin incluir los costes de integración en edificios, tejados o instalaciones especiales.

Teniendo en cuenta estos datos, podemos estimar para Canarias un precio medio de 7.39 €/Wp para las instalaciones menores a 3 kWp, de 7.13 €/Wp para instalaciones de entre 3 y 30 kWp, y de 6.37 €/Wp para instalaciones de entre 30 y 100 kWp.

### Distribución de costes para una instalación tipo



## 6.3 Ingresos para las instalaciones de conexión a la red eléctrica en España y en Portugal

### 6.3.1 Venta de energía en España y en Portugal

La venta de la energía eléctrica en España para instalaciones fotovoltaicas cuya potencia sea inferior a 100 kWp se hará a un precio total fijo de 0,4144 €, en el apartado 6.3.2 se describe la normativa española al efecto.

El precio en Portugal del kWh ronda los 0.39 (máximo) a 0.23 € (mínimo).

### 6.3.2 Normativa en España

El Real Decreto 436/2004 de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, tiene por objeto el desarrollo reglamentario en lo que se refiere al régimen especial, de la Ley 54/1997 de 27 de

noviembre, del Sector eléctrico. Por lo tanto pretende continuar el camino iniciado con el Real Decreto 2818/1998 de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos o cogeneración.

La producción de energía eléctrica utilizando fuentes de energías renovables, como la fotovoltaica, tiene la consideración de producción en Régimen Especial. Ello implica que se rige por unas disposiciones específicas que incluyen unos derechos y obligaciones.

Las instalaciones fotovoltaicas están encuadradas en el grupo b.1.1 de la clasificación establecida en el *Real Decreto 436/2004 de 12 de marzo*.

Los titulares de estas instalaciones incluidas en el Régimen Especial podrán incorporar a la red la totalidad de la energía eléctrica producida, en tanto no se alcance el 12 % del total de la demanda energética al que hace referencia la disposición transitoria 16ª de la *Ley del Sector Eléctrico*.

La retribución que se puede obtener por la cesión de la energía eléctrica será:

- *Instalaciones de hasta 100 kW, hasta que la capacidad instalada en España alcance los 150 MW, durante los primeros 25 años desde su puesta en marcha: 575% de la tarifa eléctrica media (7,2072 c €/kWh), lo que hace 4,144140 c €/kWh.*
- *Instalaciones de hasta 100 kW, hasta que la capacidad instalada en España alcance los 150 MW, a partir de los primeros 25 años desde su puesta en marcha: 460% de la tarifa eléctrica media, es decir. 3,315312 c €/kWh.*

## **6.4 Coste anual de mantenimiento**

Los paneles fotovoltaicos requieren muy escaso mantenimiento por su propia configuración, carente de partes móviles y con el circuito interior de las células y las soldaduras de conexión muy protegidas del ambiente exterior por capas de material protector. Al mismo tiempo, el control de calidad de los fabricantes es en general bueno y rara vez se presentan problemas por esta razón.

El mantenimiento abarca los siguientes procesos:

- Limpieza periódica del panel.
- Inspección visual de posibles degradaciones internas y de la estanqueidad del panel.
- Control del estado de las conexiones eléctricas y el cableado.
- Control de las características eléctricas del panel.
- Control de las conexiones eléctricas del inversor.
- Control de las características eléctricas del inversor.

Por lo tanto, las operaciones de mantenimiento son mínimas, reduciéndose a la limpieza de los paneles y a las inspecciones visuales. La suciedad acumulada sobre la cubierta transparente del panel reduce el rendimiento del mismo. La operación de limpieza consiste simplemente en el lavado de los paneles con agua y algún detergente no abrasivo, sin embargo hay que señalar que la acción de la lluvia puede, en muchos casos, reducir al mínimo o eliminar la limpieza de los paneles. A efectos de costes, únicamente se va a considerar la limpieza de los paneles dos veces al año.

La instalación solar fotovoltaica tendrá anualmente un coste de mantenimiento, y deberá tener un seguro que incluya daños a terceros.

En el informe ASIF del 2003 se especifica que el coste anual de mantenimiento de una instalación fotovoltaica es menor al 0.7 % del coste de inversión con un mínimo de 200 €/año. Siendo el coste del seguro de 0.3% del coste de la inversión.

## **6.5 Subvenciones**

Los tipos de subvenciones a que pueden acogerse las distintos países son distintas. A continuación se presentan las subvenciones a que se puede acoger una persona en la Comunidad Autónoma de Canarias.

### **6.5.1 Subvenciones en Canarias**

En la actualidad existen dos vías para obtener subvenciones por inversión en instalaciones conectadas a red:

- Ayudas para apoyo a la energía solar fotovoltaica, en el marco del Plan de Fomento de las Energías Renovables.
- Subvenciones a proyectos de ahorro, diversificación energética y utilización de energías renovables del Gobierno de Canarias.

#### **6.5.1.1 Ayudas del Plan de Fomento de las Energías Renovables**

La disposición transitoria decimosexta de la Ley 54/1997 de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, estableció la necesidad de elaborar un Plan de Fomento de las Energías Renovables, a fin de que para el año 2010 las fuentes de energías renovables (FER) cubriesen, como mínimo, el 12% del total de la demanda energética de España.

El Plan de Fomento de las Energías Renovables, aprobado por el Consejo de Ministros en su reunión de 30 de diciembre de 1999, se configura como un documento básico de la política energética y medioambiental de alcance nacional, de conformidad con las

directrices contempladas en el “Libro Blanco de las Energías Renovables” de la Unión Europea.

Para la consecución de sus objetivos, el Plan de Fomento prevé, entre otras medidas, la disposición de fondos públicos para financiar determinadas ayudas. Entre dichas ayudas se encuentran las “Subvenciones a la inversión en equipos de captación o transformación de las energías renovables”, atribuyéndose al Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía (IDAE), la competencia de su distribución.

El I.D.A.E, según aprobación de su Consejo de Administración en reunión celebrada en 23 de febrero de 2004, dotará un fondo de ayudas por un importe inicial de 39.600.000 euros y será aplicado a los Beneficiarios Finales con las condiciones e instrumentación establecidos en el presente Convenio.

La novedad de la Línea del 2004 se fundamenta en el decidido impulso institucional al desarrollo de la energía solar térmica y fotovoltaica inferior a 100 kWp. Así se han integrado en un instrumento financiero único los Programas de apoyo que venía habilitando el IDAE para estas dos tecnologías. La razón de ser de esta integración ha sido la de dar respuesta a las demandas del sector y la de facilitar al máximo al usuario, tanto en procedimientos como en plazos, el acceso a los apoyos públicos a la energía solar. La Línea, mantiene la dotación económica pública de apoyo a las tecnologías de energía solar, reforzándola a través de una financiación privilegiada. Esta dotación se destina a la amortización parcial del préstamo y a la bonificación de tipos de interés, permaneciendo invariable respecto al año anterior la intensidad de las ayudas.

Del presupuesto total, unos 3.770.361 euros serán aplicado y distribuido económicamente para una bonificación del 2 al 3 puntos del tipo de interés en los proyectos tipo 7.4 y 7.5 Solar Fotovoltaica. También habrá una ayuda directa de hasta 10.800.000 euros para la amortización parcial de la financiación de dichos proyectos.

El máximo financiable en la tipología de proyectos “7.4 y 7.5 Solar Fotovoltaica de hasta 100 kWp” será del 90% del coste elegible del proyecto.

Dentro de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red con o sin acumulación formarán parte de la inversión elegible el coste de los equipos e instalaciones, captadores fotovoltaicos, acumuladores, reguladores, convertidores, tendidos y conexiones, así como obra civil asociada, puesta en marcha, dirección e ingeniería de proyecto. Los principales subsistemas de que consta son los siguientes:

*Generador fotovoltaico:* compuesto por módulos fotovoltaicos, elementos de soporte y fijación de los módulos, elementos de interconexión entre módulos.

*Acumulación:* compuesto de baterías, reguladores, elementos de interconexión y cableado, indicadores nivel de baterías etc.

*Adaptador de energía:* compuesto de convertidores, inversor, cuadros eléctricos, interruptores y protecciones, cableados, etc.

*Monitorización (opcional):* compuesto por sensores, sistemas de adquisición de datos, etc.

*Obra civil:* compuesta por movimientos de tierras, urbanización, cimentaciones, zanjas, arquetas.

Se tomará como financiación máxima elegible unos 14 euros/Wp para instalaciones con sistema de acumulación y de 9 euros/Wp para las instalaciones sin acumulación.

Las instalaciones se deben ejecutar por instaladores acreditados por IDAE bajo la modalidad “llave en mano”. La relación de empresas acreditadas se puede consultar en la página web de IDAE: <http://www.idae.es>. Estas empresas tienen comprometida la ejecución de las instalaciones a un precio máximo establecidos en un convenio con IDAE, excepto en el caso de instalaciones especiales. Y en cuanto a los referidos al

mantenimiento, no lo serán en el supuesto de instalaciones especiales y aisladas de la red.

#### ***6.5.1.2 Subvenciones de utilización de Energías Renovables del Gobierno de Canarias.***

Las características propias de Canarias (insularidad, fragmentación geográfica, dependencia energética, etc.) hacen necesaria la implicación de la Administración de la Comunidad Autónoma de Canarias apoyando la ejecución de proyectos de energía solar fotovoltaica mediante subvenciones con el fin de acercarlos al umbral de rentabilidad.

Con este fin, entre otros, existen las subvenciones a proyectos de ahorro, diversificación energética y utilización de energías renovables, cuyas bases reguladoras para el periodo 2000-2006 se aprobaron por Orden del Consejero de Industria y Comercio de 23 de mayo de 2000. La última convocatoria tuvo lugar el 10 de diciembre de 2003, por la que se efectúa convocatoria anticipada para el año 2004, para la concesión de subvenciones a proyectos de ahorro, diversificación energética y utilización de energías renovables.

El importe de los créditos disponibles para la convocatoria correspondiente al año 2004 fue de 367.200,00 €, desglosados en 275.400 € con cargo a la aplicación presupuestaria “Ahorro Energético”, y 91.800 € con cargo al “Fomento de Energías Renovables”. Según establece la convocatoria, a dichos importes se les pueden añadir los créditos que como consecuencia de la propia gestión del Programa se precisen.

El periodo de vigencia de las bases se establece hasta el 31 de diciembre de 2006, y el plazo de presentación de solicitudes se fija en el primer trimestre natural de cada año.



El plazo máximo de justificación de las subvenciones concedidas será hasta el 31 de octubre de cada ejercicio presupuestario. Las actuaciones subvencionables son las siguientes:

- Ahorro energético y utilización racional de la energía.
- Utilización de fuentes renovables de energía.

Dentro de la utilización de fuentes renovables de energía caben tres posibilidades para proyectos de energía solar fotovoltaica:

**Electrificación de viviendas rurales aisladas con energía solar fotovoltaica**, o bien con generadores eólicos, o eólico-fotovoltaicos de hasta 10 kW de potencia total. Se subvenciona hasta un 60% de la inversión elegible, con un máximo de 2.103,54 € por vivienda. Este máximo puede ascender hasta 3.005,06 € por vivienda si los servicios sociales del Ayuntamiento acreditan la carencia de recursos económicos del solicitante. Sólo se subvencionan aquellos proyectos de fotovoltaica que instalen una potencia superior a 150 Wp.

**Iluminación de exteriores mediante sistemas fotovoltaicos** hasta un máximo de 5 puntos de luz. Se subvencionan hasta el 40% de la inversión elegible, con un máximo de 1.502,53 € por punto de luz.

Otras instalaciones de energías renovables no incluidas específicamente en la convocatoria. Este es el caso de las instalaciones fotovoltaicas **conectadas a la red de baja tensión**. Se podrá subvencionar hasta el 40% de la inversión elegible.

En todo los casos, la instalación deberá estar ejecutada por instalador eléctrico autorizado.

En el caso de los puntos 1) y 2) los equipos y las instalaciones deben estar garantizados por 3 años por el fabricante e instalador respectivamente.

## **6.6 Aspectos fiscales**

La condición de sociedad con domicilio fiscal en Canarias, cuya actividad es la venta de un bien corporal (la electricidad) producido en las islas, permite a las empresas de venta de electricidad en régimen especial beneficiarse de incentivos establecidos en el régimen Económico y fiscal de Canarias. Entre ellos la Reserva de Inversiones en Canarias (RIC), que permiten reducir la base imponible del Impuesto de Sociedades, y modifican la tasa efectiva del impuesto a pagar.

Las Palmas de G.C a 17 de septiembre de 2003

Celia Bueno

Ingeniera Industrial