

Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Técnica Industrial, Electrónica.

# ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

INSTALACION DE PANELES  
FOTOVOLTAICOS EN BOSAL S.A

(MEMORIA ACADEMICA)

Autor: David Blas Martínez

Director: Miguel Ángel Torres.



2010/2011

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>3</b>
<b>2. Índice del proyecto</b>	<b>5</b>
<b>3. Planificación del proyecto y balance de horas</b>	<b>8</b>
<b>4. Ejecución y seguimiento tutorial</b>	<b>10</b>
<b>5. Conclusiones personales</b>	<b>12</b>
<b>6. Agradecimientos</b>	<b>13</b>
<b>7. Bibliografía</b>	<b>14</b>

## 1. INTRODUCCION

El tema central de este proyecto ha sido el estudio de la energía solar fotovoltaica. Como aplicación a este estudio, se ha planteado una instalación fotovoltaica en la cubierta de BOSAL S.A. Zaragoza, empresa situada en el Polígono Entrerrios de Zaragoza.

El objetivo de este proyecto es dar a conocer la energía solar fotovoltaica como energía renovable y aumentar mis conocimientos en el tema de las energías, para en un futuro poder dedicarme a ello.

Dentro del proyecto, se han tratado varios puntos, todos relacionados directamente con la energía solar fotovoltaica, que a continuación voy a ir definiendo.

El primer punto del proyecto constituye el objeto y alcance que se pretende al realizar este proyecto final de carrera.

El segundo punto, trata de una introducción a las energías renovables y no renovables, donde se explican los diferentes tipos de energía que existen. También se trata el tema de una introducción a la energía solar fotovoltaica, donde se comentan los conceptos básicos. En este mismo punto se habla del Código Técnico de Edificación (CTE), centrándose únicamente en la parte que corresponde a energía solar fotovoltaica.

El tercer punto incluye los conceptos fundamentales de la energía solar fotovoltaica, como pueden ser el Sol, la naturaleza de la energía solar, y la radiación terrestre (difusa, directa...etc.).

El cuarto punto se centra en el efecto más importante dentro de la energía solar fotovoltaica, que es el Efecto Fotoeléctrico, mediante el que la energía luminosa (luz solar) se transforma en energía eléctrica.

En el quinto capítulo se incluye una explicación de los tipos de sistemas fotovoltaicos existentes: aislados o conectados a la red.

El sexto capítulo, se centra en la explicación profunda de cada uno de los componentes existentes en todo tipo de sistemas fotovoltaicos, bien sean

células solares, paneles fotovoltaicos, generadores fotovoltaicos, reguladores, inversores, baterías...etc.

Como la aplicación de este proyecto va a ser una instalación fotovoltaica conectada a red, el capítulo siete trata sobre las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica de distribución, explicando que medidas hemos de tomar para que cumplamos todos los requisitos propuestos por el CTE y por la normativa vigente de cada comunidad o del estado.

El en capítulo octavo se hace un análisis de las pérdidas de los sistemas fotovoltaicos y una comparativa entre sistemas fotovoltaicos fijos y con seguimiento solar, así como los pasos necesarios para conseguir saber la producción de un sistema fotovoltaico.

El capítulo número nueve aborda el tema del estado del sector fotovoltaico, centrándose principalmente en la energía solar fotovoltaica en España.

En el capítulo diez, se aborda el estudio de una instalación solar fotovoltaica en la cubierta de Bosal S.A. Zaragoza, aprovechando al máximo las dimensiones de esta. En este capítulo se realizan todos los pasos necesarios para poder llegar a desarrollarla y algunos análisis con programas destinados a este tipo de aplicaciones.

Por último y para terminar con el proyecto, se propone un glosario de términos técnicos, para entender al máximo el contenido del proyecto.

## 2. INDICE DEL PROYECTO

La documentación presentada sigue el siguiente índice:

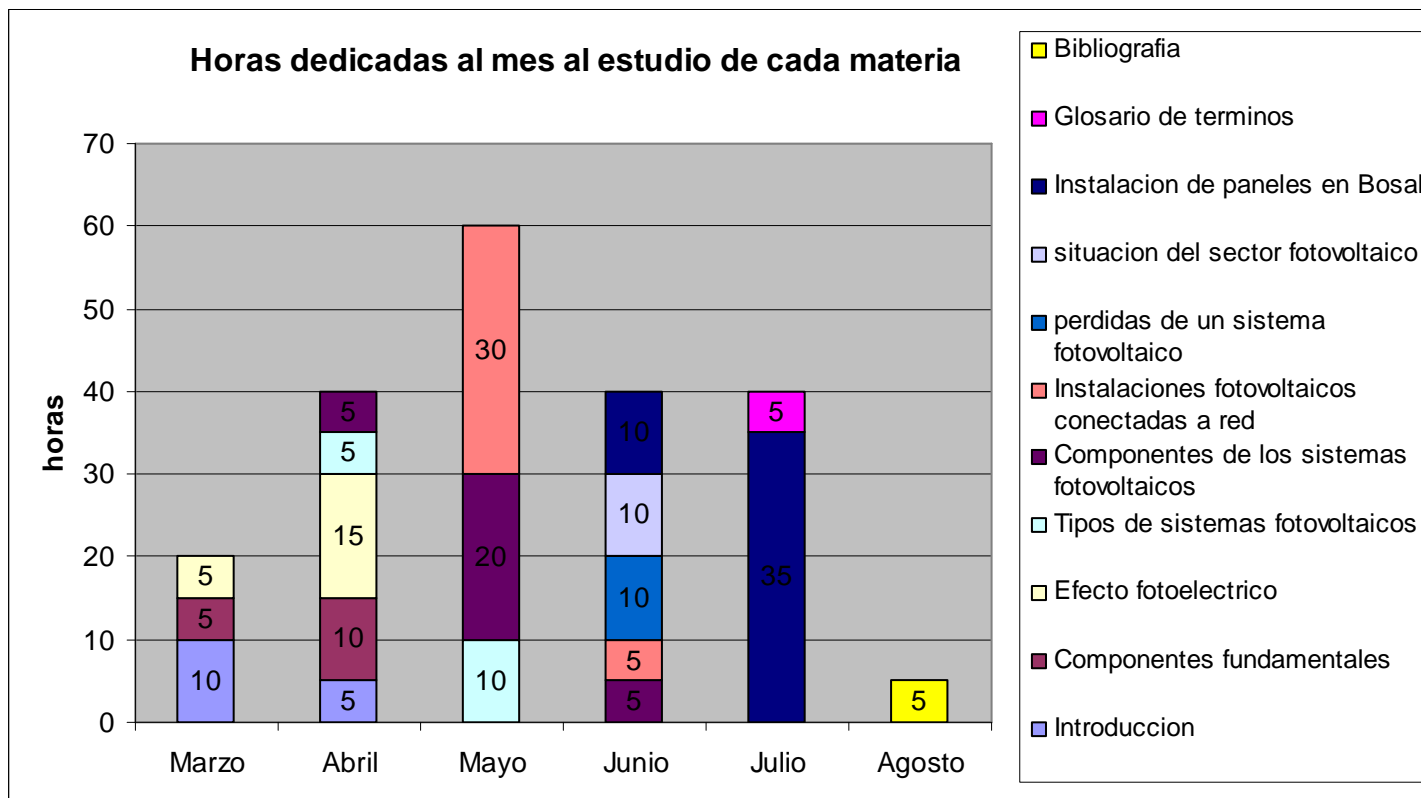
<b>RESUMEN</b>	<b>2</b>
<b>1. OBJETO Y ALCANCE</b>	<b>6</b>
1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO	6
1.2. ALCANCE DEL PROYECTO	6
<b>2. INTRODUCCION</b>	<b>7</b>
2.1. ANTECEDENTES	7
2.2. PRINCIPALES FUENTES DE ENERGIA NO RENOVABLE	8
2.3. FUENTES DE ENERGIA RENOVABLE	10
2.4. CONCEPTOS BASICOS DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	14
2.5. RAZONES DE ELECCION DE LA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	21
2.6. EL CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION (CTE)	22
2.7. CONCLUSIONES	25
<b>3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES SOBRE ENERGIA SOLAR</b>	<b>28</b>
3.1. EL SOL	28
3.2. LA NATURALEZA DE LA ENERGIA SOLAR	30
3.3. LA RADIACION SOLAR	32
3.3.1. La radiación solar terrestre	
<b>4. EL EFECTO FOTOELECTRICO</b>	<b>39</b>
4.1. HISTORIA DEL EFECTO FOTOELECTRICO	39
4.2. GENERALIDADES	46
4.3. INTERPRETACION CUANTICA DEL EFECTO FOTOELECTRICO	51
4.4. LOS SEMICONDUCTORES	53
4.5. APLICACIONES DEL EFECTO FOTOVOLTAICO	60
<b>5. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b>	<b>64</b>
5.1. GENERALIDADES	64
5.2. SISTEMAS AISLADOS	64
5.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED	67
<b>6. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b>	<b>71</b>
6.1. LA CELULA SOLAR	71
6.1.1. Configuración de la célula solar	
6.1.2. El silicio	
6.1.3. Características típicas de las células solares	
6.1.4. Proceso de fabricación de células solares	
6.1.5. Productores de células fotovoltaicas	
6.1.6. ¿Cuántos voltios puede darnos una célula fotovoltaica?	
6.1.7. Venta de células fotovoltaicas	
6.2. EL PANEL FOTOVOLTAICO	97
6.2.1. Composición y geometría del panel	
6.2.2. Características eléctricas	
6.2.3. Producción por m <sup>2</sup> de placas fotovoltaicas	
6.2.4. Placas fotovoltaicas de ultima generación	
6.3. DIODOS DE PROTECCION PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS	112

6.4. EL GENERADOR FOTOVOLTAICO	114
6.5. LAS ESTRUCTURAS SOPORTE	117
6.5.1. Tipos de estructuras	
6.5.2. Requisitos	
6.6. LOS CABLES DE CONEXIÓN	122
6.6.1. Norma AWG	
6.7. EL INVERSOR	125
6.7.1. Tipos de inversores	
6.7.2. Requisitos para el inversor en el sistema fotovoltaico (sacado del CTE)	
6.8. LA BATERIA SOLAR	135
6.8.1. La batería de Níquel – Cadmio (Ni – Cd)	
6.9. EL REGULADOR FOTOVOLTAICO	143
6.9.1. Regulación de la intensidad de carga de las baterías	
6.9.2. Tipos de reguladores de carga	
6.9.3. Principales diferencias entre el regulador en serie y paralelo.	
6.9.4. Características principales de los reguladores de carga.	
<b>7. INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A LA RED</b>	<b>151</b>
7.1. FACTURACION NETA Y TARIFA FOTOVOLTAICA	154
7.2. ELEMENTOS QUE COMPONEN LA INSTALACION	156
7.2.1. El generador fotovoltaico	
7.2.2. El inversor	
7.2.3. El cableado	
7.2.4. La conexión a red	
7.2.5. Protecciones	
7.2.6. Puesta a tierra	
7.2.7. Mantenimiento	
7.2.8. Garantía	
<b>8. PERDIDAS EN UN SISTEMA FOTOVOLTAICO Y POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO</b>	<b>183</b>
8.1. PERDIDAS	183
8.1.1. Perdidas por temperatura	
8.1.2. Perdidas por no cumplimiento de la potencia nominal	
8.1.3. Perdidas por conexionado	
8.1.4. Perdidas por sombreado del generador	
8.1.5. Perdidas por polvo y suciedad	
8.1.6. Perdidas angulares	
8.1.7. Perdidas espectrales	
8.1.8. Perdidas por el rendimiento del inversor	
8.1.9. Perdidas por rendimiento de seguimiento del punto de máxima potencia del generador	
8.1.10. Perdidas por caídas cósmicas en el cableado	
8.1.11. Perdidas por explotación y mantenimiento.	
8.2. COMPARATIVA ENTRE LAS PERDIDAS EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FIJOS Y CON SEGUIMIENTO	191
8.3. POTENCIA PRODUCIDA POR EL GENERADOR FOTOVOLTAICO IDEAL	193
8.4. CONCLUSIONES EN CUANTO A LA ESTIMACION DE ENERGIA GENERADA	195

<b>9. LA SITUACION DEL SECTOR FOTOVOLTAICO</b>	<b>198</b>
9.1. EL MERCADO FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA	198
<b>10. INSTALACION DE LA CUBIERTA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS</b>	<b>205</b>
10.1. RESUMEN	205
10.2. INTRODUCCION	205
10.3. DISEÑO DE LA CUBIERTA SOLAR FOTOVOLTAICA	216
10.4. DIMENSIONADO DEL CAMPO FOTOVOLTAICO	224
10.5. CONEXIONADO A LA RED ELECTRICA	229
10.6. CALCULO TEORICO DE LA ENERGIA GENERADA POR LA INSTALACION	235
10.7. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PROGRAMA PVSYST	237
10.8. MANTENIMIENTO DE LA INSTALACION	240
10.9. RESUMEN DEL PRESUPUESTO	242
10.10. ANALISIS DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA INSTALACION	242
10.11. IMPACTO AMBIENTAL	244
10.12. IMPACTO SOCIAL	246
<b>11. GLOSARIO DE TERMINOS</b>	<b>247</b>
<b>12. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>250</b>

### 3. PLANIFICACION DEL PROYECTO Y BALANCE DE HORAS.

A continuación se muestra un grafico, en el que se muestran las horas invertidas para el estudio de cada uno de los apartados del proyecto, bien sea por búsqueda de información mediante diferentes medios o para redactarlo.

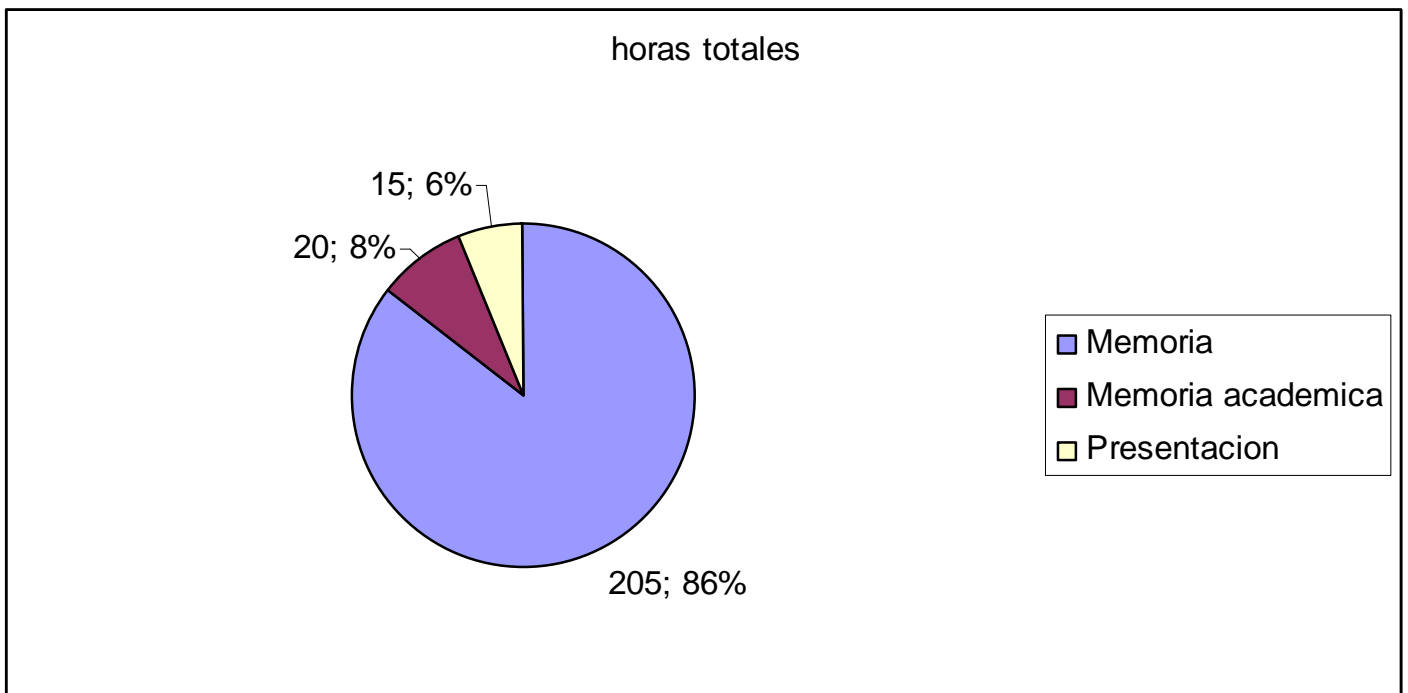


**Grafica 1. Horas dedicadas al estudio de cada materia.**

Como puede observarse, la mayoría del tiempo invertido, se reparte entre el apartado de instalación de paneles fotovoltaicos en la cubierta de BOSAL (por el análisis, elección, simulación de resultados...etc.), el apartado de componentes de los sistemas fotovoltaicos, y el apartado de instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica convencional.



En cuanto a la distribución del tiempo de las diferentes partes del proyecto (memoria, memoria académica y presentación), ha quedado de la siguiente manera:



**Grafica 2. Horas totales invertidas en el proyecto.**

En total, el numero de horas invertidas en el proyecto final de carrera han sido:

**240 HORAS**

#### 4. EJECUCION Y SEGUIMIENTO TUTORIAL

Durante el estudio, documentación y ejecución de este proyecto, no he podido acudir habitualmente a las tutorías del profesor Miguel Ángel Torres Portero, por motivos de trabajo en prácticas universitarias. No obstante, a través de correos electrónicos y algunas tutorías he podido resolver con facilidad los problemas o cuestiones que se me planteaban durante la realización del mismo.

##### REUNION 1

**FECHA:** 29 de Marzo de 2011

**DESTINATARIO:** Miguel Ángel Torres Portero

**ASUNTOS TRATADOS:** Proposición de realizar el proyecto fin de carrera y elección del mismo.

##### REUNION 2

**FECHA:** 12 de Abril de 2011

**DESTINATARIO:** Miguel Ángel Torres Portero

**ASUNTOS TRATADOS:** Exposición de índice provisional y propuesta de instalación de paneles en Bosal.

Desde este momento hasta Junio, por motivos laborales, no pude acudir a las tutorías para el seguimiento del proyecto, no obstante a través de correos electrónicos se iban resolviendo las posibles dudas.

### REUNION 3

**FECHA:** 14 de Junio de 2011

**DESTINATARIO:** Miguel Ángel Torres Portero

**ASUNTOS TRATADOS:** Revisión de la memoria del proyecto y comienzo de la memoria académica.

### REUNION 4

**FECHA:** 28 de Junio de 2011

**DESTINATARIO:** Miguel Ángel Torres Portero

**ASUNTOS TRATADOS:** Revisión final de la memoria .

### REUNION 5

**FECHA:** 29 de Junio de 2011

**DESTINATARIO:** Miguel Ángel Torres Portero

**ASUNTOS TRATADOS:** Firma de la hoja de aceptación del proyecto fin de carrera.

## 5. CONCLUSIONES PERSONALES

En el momento en el que decidí hacer el proyecto final de carrera, mi primera opción siempre había sido elegir algún tema relacionado con las energías renovables. Por ciertos motivos, empecé con otro proyecto (que nada tenía que ver con las energías renovables) en una empresa donde estuve de prácticas, pero al no recibir ningún tipo de ayuda por parte del tutor en la empresa decidí abandonarlo. Tras esto, acudí a Miguel Ángel Torres, para realizar un proyecto relacionado con las energías renovables y finalmente me decante por la energía solar fotovoltaica.

Respecto a la energía solar fotovoltaica, hay que decir que su potencial es en todo caso muy superior a la demanda actual y futura de electricidad, si bien, desde un punto de vista puramente económico sólo es competitiva en algunos casos concretos. Para proponer objetivos y/o proyectos estratégicos en este campo hay que considerar y evaluar, en cada caso, los beneficios que supone para nuestro desarrollo la utilización de esta energía frente a la electricidad convencional.

Una vez que he concluido el proyecto, y gracias a los conocimientos que he adquirido realizándolo, se me pasa por la cabeza realizar el master universitario que se centra en el estudio de estas energías.

## 6. AGRADECIMIENTOS

No podría haber realizado este proyecto fin de carrera sin la ayuda de muchas personas que han estado conmigo apoyándome y dándome ánimos durante todo el año. Quiero agradecerles a todos ellos todo lo que han hecho por mí para que pudiera realizar el proyecto de la mejor manera posible y en las mejores condiciones.

Quiero dar las gracias, al profesor Miguel Ángel Torres Portero, por toda esa paciencia que ha demostrado al contestar a todos mis correos con dudas con respecto al proyecto, y por su ayuda brindada durante la realización del mismo.

A la empresa Bosal, que tan bien me acogieron cuando estuve haciendo las practicas en su empresa, y por darme la idea para realizar una parte muy importante de este proyecto.

A mi familia, porque siempre han tenido tiempo para echarme una mano con el proyecto, en especial a mis padres Lorenzo y Maria Ángeles y a mi hermana Andrea, que aunque la mayor parte del tiempo desde la distancia siempre alegra cualquier momento cuando esta en casa.

Quiero hacer una mención destacada, a mi amiga especial, Patricia, que día a día ha hecho todo lo posible por animarme y conseguir sacarme una sonrisa, haciendo que el trabajo de llevar a cabo el proyecto fuera mas ameno.

A todos mis amigos, que siempre me han preguntado como iba todo y se interesaban por los avances del proyecto, y además servían como desconexión de los estudios.

En fin, que muchas gracias a todos.

## 7. BIBLIOGRAFIA

Principales publicaciones examinadas para la realización del proyecto:

[1] ***“Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts”***

Peter Würfel ,2010

[2] ***“Energía solar fotovoltaica”*** Méndez Muñoz, Javier María y Cuervo García, Rafael, 2008.

[3] ***“Sistemas solares fotovoltaicos: fundamentos, tecnologías y aplicaciones”*** Javier Martín Jiménez, 2008

[4] ***“Guía completa de la energía solar fotovoltaica y termoeléctrica: adaptada al código técnico de edificación”*** José Maria Fernández Salgado, 2008

[5] ***“Sistemas fotovoltaicos conectados a red: estándares y condiciones técnicas”*** M. Castro Gil, L. Dávila Gómez, A. Colmenar.

[6] ***“Photon: la revista de fotovoltaica”*** [www.photon.com.es](http://www.photon.com.es)

[7] ***“Energías renovables”*** Antonio Creus Solé, 2004

Principales paginas Web utilizadas para la realización del proyecto:

[8] Centro nacional de energías renovables (CENER), [www.cener.com](http://www.cener.com)

[9] [www.solarweb.net](http://www.solarweb.net)

[10] Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE) [www.idae.es](http://www.idae.es)

[11] Endesa, [www.endesa.es](http://www.endesa.es)

[12] Iberdrola, [www.iberdrola.es](http://www.iberdrola.es)

[13] Wikipedia, [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

[14] Sitio solar, [www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com)

[15] Buscador de paginas web solares, [www.top50-solar.de/es](http://www.top50-solar.de/es)

[16] Comisión nacional de energía CNE, [www.cne.es](http://www.cne.es)

[17] Centro de estudios de la energía solar, [www.censolar.es](http://www.censolar.es)

[18] Blog de energías renovables, [www.erenovables.com](http://www.erenovables.com)

[19] Portal de energías renovables, [www.portalenergia.es](http://www.portalenergia.es)

[20] Atersa, grupo Elecnor, [www.atersa.com](http://www.atersa.com)

[21] Fronius, [www.fronius.com](http://www.fronius.com)

[22] Buscador google, [www.google.es](http://www.google.es)

