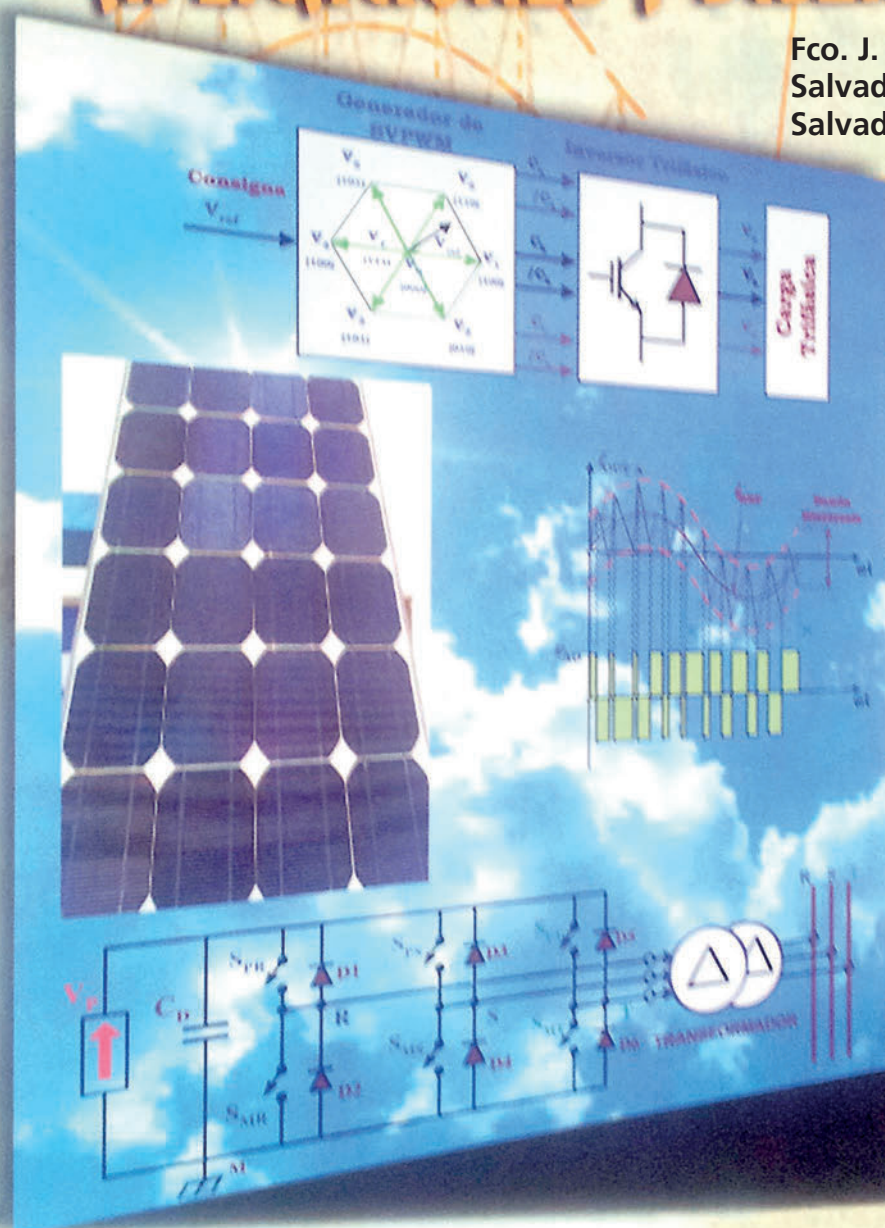


CONVERTIDORES ELECTRÓNICOS: ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, APLICACIONES Y DISEÑO

Fco. J. Gimeno Sales
Salvador Seguí Chilet
Salvador Orts Grau



ed EDICIÓ
DIGITAL
UPV

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Fco. J. Gimeno Sales
Salvador Seguí Chilet
Salvador Orts Grau

**CONVERTIDORES ELECTRÓNICOS:
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA,
APLICACIONES Y DISEÑO**

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Primera edición impresa, 2002
Primera edición electrónica, 2011



Esta editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional.

© de la presente edición:
Editorial Universitat Politècnica de València
www.editorial.upv.es

© Fco. J. Gimeno Sales
Salvador Seguí Chilet
Salvador Orts Grau

ISBN ed. impresa: 84-9705-117-7
ISBN ed. electrónica: 978-84-8363-750-0
Ref. editorial: 6024

Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN A LAS FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA	7
1.1. INTRODUCCIÓN	9
1.2. LA RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.....	10
1.3. ENERGÍA ELECTROQUÍMICA.....	11
1.4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	12
1.4.1. CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	13
1.4.2. SITUACIÓN ACTUAL Y PREVISIONES DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN 2000	15
1.4.2.1. Energía solar fotovoltaica en España	16
1.5. ENERGÍA EÓLICA	19
1.5.1. PARTES DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN EÓLICO	19
1.5.2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EÓLICA	22
CAPÍTULO 2. GENERACIÓN Y ACUMULACIÓN DE ENERGÍA EN CENTRALES SOLARES	23
2.1. INTRODUCCIÓN	25
2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA	25
2.2.1. EL PANEL SOLAR O MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	28
2.3. NORMATIVA SOBRE PANELES SOLARES O MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	34
2.4. INTERCONEXIÓN DE PANELES SOLARES O MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	34
2.5. SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA	36
2.5.1. MODULACIÓN DEL MPPT	38
2.5.2. MUESTREO DEL MPPT	40
2.6. CÁLCULOS DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA....	40
2.6.1. INSTALACIONES DE CENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS	45
2.6.2. TIPOS DE CENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS	47
2.7. ACUMULADOR DE ENERGÍA. BATERÍA DE PLOMO-ÁCIDO.....	48
2.7.1. INTRODUCCIÓN.....	48
2.8. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA BATERÍA DE PLOMO	50

2.9. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS BATERÍAS	53
2.9.1. CAPACIDAD	53
2.9.2. POTENCIA DE UNA BATERÍA	57
2.9.3. ENERGÍA DE UNA BATERÍA	57
2.9.4. RENDIMIENTO DE UNA BATERÍA	57
2.9.5. SOBRECARGA DE UNA BATERÍA	58
2.9.6. DESCARGA PROFUNDA DE LAS BATERÍAS	58
2.9.7. AUTODESCARGA DE LAS BATERÍAS	59
2.9.8. TENSIONES DE TRABAJO	59
2.9.9. RESISTENCIA INTERNA DE LAS BATERÍAS	60
2.9.10. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACUMULADOR PLOMO-ÁCIDO	60
2.9.11. CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS HERMÉTICAS	61
2.9.12. ESTADO DE CARGA DE LAS BATERÍAS	61
2.9.13. TEST DE LAS BATERÍAS	63
2.9.14. SISTEMAS DE CARGA DE BATERÍAS	63
2.9.15. CARGA DEL ACUMULADOR DE PLOMO-ÁCIDO	64
2.9.16. CARGA A TENSION CONSTANTE (U)	65
2.9.17. CARGA A INTENSIDAD CONSTANTE (IA)	66
2.9.18. CARGA A INTENSIDAD Y TENSION CONSTANTE (IU)	67
2.9.19. CARGA CON TENSION CRECIENTE (WA)	69
2.10. REGULADORES PARA LA CARGA DE BATERÍAS (CARGADORES DE BATERÍAS)	70
2.10.1. RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE CARGADORES DE BATERÍAS	72
2.10.2. LAS BATERÍAS EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: DIMENSIONADO	72

**CAPÍTULO 3. CONVERTIDORES CONTINUA-ALTERNA
(INVERSORES).....** 73

3.1. INTRODUCCIÓN	75
3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS CONVERTIDORES CONTINUA-ALTERNA	76
3.3. CONCEPTOS BÁSICOS EN INVERSORES.....	77
3.3.1. INTERRUPTORES CONTROLADOS DE POTENCIA	78
3.4. FUNCIONAMIENTO BÁSICO DE LOS CONVERTIDORES CONTINUA-ALTERNA	80
3.4.1. INVERSOR MONOFÁSICO. TOPOLOGÍA EN SEMIPUENTE	81
3.4.2. INVERSOR MONOFÁSICO. TOPOLOGÍA EN PUENTE	84
3.5. INVERSORES TRIFÁSICOS (VSI)	92

3.5.1. INVERSOR TRIFÁSICO MEDIANTE INVERSORES MONOFÁSICOS..	92
3.5.2. INVERSOR TRIFÁSICO TOPOLOGÍA EN PUENTE. MODULACIÓN 180°	93
3.5.3. INVERSOR TRIFÁSICO TOPOLOGÍA EN PUENTE. MODULACIÓN 120°	101
CAPÍTULO 4. CONTROL ESCALAR: TÉCNICAS DE MODULACIÓN PWM	113
4.1. INTRODUCCIÓN	115
4.2. MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FASE	117
4.3. MODULACIÓN POR ANCHURA DE UN PULSO POR SEMIPERODO	119
4.4. MODULACIÓN POR ANCHURA DE VARIOS PULSOS POR SEMIPERODO	121
4.5. MODULACIÓN POR ANCHURA DE VARIOS PULSOS SENOIDAL (SPWM)	124
4.6. MODULACIÓN POR ANCHURA DE PULSOS SENOIDALES MODIFICADA (MSPWM)	127
4.7. MODULACIÓN POR ELIMINACIÓN DE ARMÓNICOS SELECTIVOS	128
4.8. MODULACIÓN POR COMPARACIÓN TRAPEZOIDAL	131
4.9. MODULACIÓN POR INYECCIÓN DE ARMÓNICOS	132
4.10. MODULACIÓN POR CORRIENTE REGULADA	133
4.11. INVERSORES VSI MONOFÁSICOS CON MODULACIÓN SPWM	135
4.11.1. INTRODUCCIÓN A LA MODULACIÓN SPWM EN INVERSORES VSI	135
4.11.2. INVERSOR MONOFÁSICO CON CONTROL SPWM Y SALIDA DE TENSIÓN BIPOLAR	144
4.11.3. INVERSOR MONOFÁSICO CON CONTROL SPWM Y SALIDA DE TENSIÓN UNIPOLAR	147
4.11.4. RIZADO EN LA SALIDA DE UN INVERSOR MONOFÁSICO	150
4.11.5. SIMULACIÓN DE UN PUENTE INVERSOR MONOFÁSICO (SPWM)	152
4.12. INVERSORES TRIFÁSICOS CON CONTROL SPWM	153
4.12.1. RIZADO EN LA SALIDA DEL INVERSOR TRIFÁSICO	157
4.12.2. CORRIENTE EN EL BUS DE CONTINUA	159
4.12.3. SIMULACIÓN DE UN PUENTE INVERSOR TRIFÁSICO (SPWM)	160
4.13. EFECTO DE LOS TIEMPOS MUERTOS EN INVERSORES PWM	163

CAPÍTULO 5. CONTROL VECTORIAL: MODULACIÓN SVPWM	165
5.1. INTRODUCCIÓN	165
5.2. DEFINICIÓN DEL VECTOR ESPACIO	167
5.3. TRANSFORMADA DE SCOTT Y TRANSFORMADA DE PARK.....	171
5.4. VECTORES DE CONMUTACIÓN DE TENSIÓN	179
5.5. MODULACIÓN DE VECTORES ESPACIALES.....	189
5.6. LA DISTRIBUCIÓN DE LOS CICLOS DE TRABAJO	196
5.7. LIMITACIONES DEL VECTOR ESPACIAL APLICADO	206
5.7.1. LIMITACIÓN IMPUESTA POR EL CÍRCULO MÁXIMO	206
5.7.2. LIMITACIÓN IMPUESTA POR EL HEXÁGONO	208
5.8. RESULTADO DE LA MODULACIÓN CON VECTORES ESPACIALES	210
 CAPÍTULO 6. MODELADO DE INVERSORES	 213
6.1. INTRODUCCIÓN	215
6.2. MODELADO DE CONVERTIDORES CONMUTADOS EN ELECTRÓNICA DE POTENCIA: MODELO DE PROMEDIADO CICLO A CICLO	215
6.3. BLOQUE CONSTRUCTIVO COMÚN A TODOS LOS CONVERTIDORES CONMUTADOS DE POTENCIA	215
6.4. PROMEDIADO CICLO A CICLO O CCA (CYCLE-BY-CYCLE AVERAGING).....	218
6.5. REGULACIÓN DE LA TENSIÓN DE SALIDA CON EL MODELO CCA EN INVERSORES VSI.....	223
6.5.1. INVERSORES MONOFÁSICOS. MODELO CCA.....	231
6.5.2. REPRESENTACIÓN CCA DE INVERSORES TRIFÁSICOS.....	235
6.5.3. CORRIENTE EN EL BUS DE CONTINUA	239
 CAPÍTULO 7. CIRCUITOS INTEGRADOS DE CONTROL DE INVERSORES VSI	 241
7.1. INTRODUCCIÓN	243
7.2. CIRCUITO INTEGRADO DE CONTROL PWM TRIFÁSICO: MA818.....	243
7.2.1. REGISTRO DE INICIALIZACIÓN	244
7.2.2. REGISTRO DE CONTROL	247
7.2.3. PROGRAMACIÓN DEL MA818	250
7.2.4. INTERFACE DEL MA818 Y EL UC80537.....	250
7.2.5. EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN DEL MA818	251

7.3. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL VECTORIAL	254
7.3.1. ARQUITECTURA Y CARACTERÍSTICAS DEL TMS320X240.....	256
7.3.2. PERIFÉRICOS ESPECÍFICOS PARA EL CONTROL DE INVERSORES.....	257
7.3.3. PATRONES DE CONMUTACIÓN EN LA MODULACIÓN SVPWM	257
7.3.3.1. Patrones de conmutación definidos por software.....	257
7.3.3.2. Patrones de conmutación definidos por hardware.....	259
7.3.4. PLATAFORMA HARDWARE PARA UNA APLICACIÓN CON DSP ...	265
CAPÍTULO 8. REDUCCIÓN DE ARMÓNICOS EN LA TENSIÓN DE SALIDA: FILTROS	269
8.1. INTRODUCCIÓN	271
8.2. TOPOLOGÍA Y DISEÑO DE FILTROS PASIVOS PARA CONVERTIDORES DC/AC	271
8.3. EJEMPLO DE DISEÑO DE UN FILTRO TIPO L-C.....	274
CAPÍTULO 9. APLICACIONES DE LOS INVERSORES VSI.....	277
9.1. INTRODUCCIÓN	279
9.2. CONVERTIDORES AC/DC REVERSIBLES.....	279
9.3. ACTUACIÓN DEL INVERSOR COMO RECTIFICADOR	290
9.4. COMPENSACIÓN REACTIVA EN SISTEMAS TRIFÁSICOS CON INVERSORES VSI	293
9.5. FUNCIONAMIENTO BIDIRECCIONAL DE UN PUENTE INVERSOR. EN UN CARGADOR DE BATERÍAS	295
9.5.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA	296
9.5.2. DESCRIPCIÓN DEL CARGADOR DE BATERÍAS	297
9.5.3. SIMULACIÓN DEL SISTEMA INVERSOR/CARGADOR.....	298
APÉNDICE 1. ANÁLISIS DE FOURIER	301
A1.1. INTRODUCCIÓN	303
A1.2. DESARROLLO EN SERIE DE FOURIER	303
A1.3. FORMAS DE SEÑALES, CONSIDERACIONES	306
A1.4. RELACIÓN CON EL VALOR EFICAZ Y LA POTENCIA	307
A1.5. EJEMPLOS SOBRE FORMAS DE ONDA TÍPICAS DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS.....	308

APÉNDICE 2. TRANSFORMADORES	319
A2.1. INTRODUCCIÓN	321
A2.2. ESTUDIO DEL TRANSFORMADOR	321
A2.2.1. CONSTITUCIÓN DEL TRANSFORMADOR	321
A2.2.2. RELACIONES ENTRE LA ENTRADA Y LA SALIDA	322
A2.2.3. PÉRDIDAS EN EL TRANSFORMADOR REAL	322
A2.2.4. CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN TRANSFORMADOR	322
A2.2.5. PARÁMETROS IMPORTANTES DEL TRANSFORMADOR EN CIRCUITOS RECTIFICADORES.....	323
A2.3. TRANSFORMADORES EN SISTEMAS TRIFÁSICOS.....	324
A2.3.1. CONEXIONES DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS	325
A2.4. EJEMPLOS DE CÁLCULO DE TRANSFORMADORES	329
A2.5. CÁLCULO DEL TRANSFORMADOR	331
APÉNDICE 3. RELACIONES TRIGONOMÉTRICAS	333
A3.1. RELACIONES TRIGONOMÉTRICAS.....	335
BIBLIOGRAFÍA	337

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LAS FUENTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

1.1. INTRODUCCIÓN

La sociedad industrial actual presenta una gran dependencia de las fuentes de energía: electricidad, petróleo, nuclear, gas natural, carbón, etc. Teniendo en cuenta que alguna de ellas (nuclear, petróleo, gas) se utiliza para la producción de energía eléctrica, no es absurdo decir que la energía eléctrica es la más importante de todas ellas, siendo la más ampliamente utilizada. Su utilización es fundamental y necesaria en la gran cantidad de equipos electrónicos que existen en la actualidad, los cuales la utilizan para aumentar el confort y la calidad de vida de la población. Como fuentes de energía primaria eléctrica de los equipos electrónicos se pueden considerar las siguientes:

- La red de suministro eléctrico de alterna.
- Baterías ó acumuladores electroquímicos recargables.
- Pilas ó generadores electroquímicos (no recargables).
- Otras fuentes no convencionales (aerogeneradores, paneles solares, grupos electrógenos, etc.).

Debido a que los recursos energéticos son limitados y a la creciente preocupación existente por preservar el medio ambiente, es muy importante:

1. La utilización de las fuentes de energía renovables.
2. La mejora del rendimiento en todos los equipos que consumen energía eléctrica.

Para conseguir los objetivos mencionados se hace necesaria la utilización de los convertidores estáticos de potencia. Los convertidores estáticos de potencia se ubican entre la fuente de energía eléctrica y la carga, intentando obtener el mayor aprovechamiento posible de la fuente de energía. Los convertidores actúan normalmente modificando las características de la energía eléctrica, variando su forma de presentación.

Dado que las características de la energía eléctrica que se obtiene a partir de las fuentes de energía renovables (eólica, fotovoltaica,...) presenta unas características diferentes a la de la red de suministro eléctrico de alterna, es necesaria la utilización de convertidores electrónicos que adapten las características de la fuente de energía eléctrica renovable a las características de la fuente de energía eléctrica más habitualmente utilizada: la red de suministro eléctrico de alterna.

En la mejora del rendimiento de los receptores que consumen energía eléctrica se pueden citar ejemplos diversos como la utilización de convertidores electrónicos de potencia en los sistemas de aire acondicionado domésticos e industriales, cocinas por inducción, fuentes de alimentación de TV y PC, lámparas electrónicas de bajo consumo, etc.

En el presente libro se va a desarrollar una introducción de las fuentes de energía eléctrica más importantes para después abordar en profundidad la energía solar fotovoltaica y los convertidores electrónicos que permiten su utilización.

1.2. LA RED DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

La red de suministro eléctrico europea proporciona una tensión alterna de frecuencia igual a 50Hz. Las tensiones están normalizadas, siendo de 380 voltios entre fases y de 220 voltios entre fase y neutro, pudiendo existir suministros monofásicos o trifásicos, dependiendo de la potencia a consumir. En instalaciones antiguas se pueden encontrar tensiones de 220 voltios entre fases y de 127 voltios entre fase y neutro.

Se trata de la fuente de energía eléctrica primaria más habitual y general por diferentes motivos. Por las características de la tensión alterna, es muy sencillo elevar o reducir la tensión mediante transformadores. Esto es determinante cuando se habla de pérdidas en el transporte, ya que para transportar una misma potencia, cuanto más se eleve la tensión, menos corriente se necesita, y por tanto, las pérdidas en los conductores se reducen. Es por ello que las compañías eléctricas realizan el transporte de energía eléctrica a muy alta tensión.

La red de distribución primaria realiza el transporte de la energía eléctrica en alta tensión (A.T.) a unos 400.000V, desde las estaciones transformadoras elevadoras, cercanas a las centrales eléctricas, hasta las estaciones transformadoras reductoras, ya cerca de polígonos industriales y zonas residenciales. La red secundaria de distribución transporta la energía eléctrica en media tensión (M.T.) a unos 25.000V, desde las estaciones transformadoras reductoras, abasteciendo a abonados de media tensión, hasta los centros de transformación. En los centros de transformación se reduce a baja tensión (B.T.), a 380V y se distribuye a los abonados de baja tensión: viviendas, pequeñas industrias, comercios, etc.

Las compañías suministradoras de energía eléctrica están obligadas a mantener las características de la red de suministro (calidad del suministro), con unos márgenes de variación que están fijados por diversas normativas. Los valores límites de perturbaciones que se consideran generalmente aceptables por los países miembros de la UNIPEDA se muestran a continuación:

- ❑ Variaciones lentas de tensión del $\pm 10\%$ del valor nominal.
- ❑ Variaciones de frecuencia de $\pm 1\text{Hz}$ sobre el valor nominal.
- ❑ Desequilibrios del 2% del valor nominal.
- ❑ Armónicos:
 - Impares de orden inferior a 13, el 5%
 - Impares de orden superior a 13, el 1.5%
 - Pares 2%
 - Globales 7%

Cuando se recurre a la red de suministro eléctrico como fuente de energía primaria para cualquier equipo electrónico, hay que tener presente los posibles fallos en el suministro y la mayor o menor duración de los mismos. Si el funcionamiento del equipo no debe verse alterado por estos fallos, es decir, requiere un suministro ininterrumpido de energía, deberán de preverse fuentes de energía alternativas, que se activarán durante los intervalos de tiempo en los que falle el suministro.

A continuación se expone detalladamente los diferentes tipos de energías primarias, como son: energía electroquímica, fotovoltaica y eólica.

1.3. ENERGÍA ELECTROQUÍMICA

La energía eléctrica de origen electroquímico es debida a la capacidad de generar una tensión y una corriente eléctrica a partir de reacciones químicas que provocan determinados componentes (o materiales). Dependiendo de que la reacción sea reversible o no, se podrá hablar de generadores electroquímicos recargables o de no recargables. Los generadores electroquímicos no recargables, conocidos como pilas, son una importante fuente de energía para receptores de bajo consumo portátiles.

Los generadores electroquímicos recargables, conocidos como baterías, utilizan aquellos circuitos que no pueden aprovechar la red de suministro eléctrico como fuente de energía. También son utilizadas como energía alternativa de seguridad ante fallos en la red de suministro eléctrico. Cuando el suministro eléctrico se restablece, las baterías son recargadas quedando preparadas para atender al próximo fallo (Sistemas de Alimentación Ininterrumpida o SAI's).

Los sistemas de energía solar fotovoltaica constituyen uno de los principales campos de aplicación de las baterías, siendo estas las encargadas de almacenar la energía producida por los paneles solares cuando no es posible suministrar la energía a la red de suministro, o cuando no haya demanda de energía (receptores).

El correcto abastecimiento energético exige poder almacenar energía cuando la producción fotovoltaica excede a la demanda, para utilizarla en la situación contraria, siendo las baterías el acumulador encargado de almacenar esta energía.

El abanico de tipos de baterías es muy amplio (Ni-Fe, Ni-Zn, Zn-Cl, Redox, etc.) pero de nuevo, las disponibilidades del mercado actual reducen la elección del diseñador a dos posibilidades: las baterías de plomo-ácido y las de níquel-cadmio. El precio de las baterías de Ni-Cd, para la misma cantidad de energía, es del orden de cuatro o cinco veces superior al de las baterías de plomo-ácido, por lo que su utilización se restringe a algunos casos muy específicos caracterizados, en general, por su pequeña entidad, del orden de unos pocos cientos de vatios hora al día. Por todo ello, la mayoría de los acumuladores utilizados en los sistemas electrónicos son baterías recargables de plomo-ácido.

1.4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

En general, un sistema fotovoltaico puede incluir los elementos que describe la Figura 1-1:

- **Un generador fotovoltaico.** Constituido por paneles solares que producen tensión continua y corriente constante.
- **Un generador auxiliar,** que complementa al anterior en los momentos de insuficiente radiación. Con mucha frecuencia está constituido por un grupo termoeléctrico alimentado por diesel o gasolina.
- **Un acumulador de energía** que adapta los diferentes ritmos de producción y demanda, almacenando energía en los momentos en que la producción es superior a la demanda, y entregándola en el caso contrario. En la mayoría de los sistemas está constituido por un acumulador electroquímico, o **batería**, de plomo ácido. Con menor frecuencia se utilizan baterías de níquel-cadmio. Algunas veces, en lugar de almacenar energía, se recurre a almacenar directamente el producto final del sistema, como puede ser el agua en los sistemas de bombeo.
- **Una carga** que utiliza la energía eléctrica producida por los generadores y que puede adoptar muchas formas: equipos DC (iluminación, televisión, enlaces de telecomunicación, etc.), equipos AC (motores eléctricos, iluminación, etc.) e incluso la propia red de suministro y distribución de electricidad convencional en alterna.

- Un conjunto de equipos que actúan de interfaz entre todos los definidos anteriormente y que ejercen funciones de protección y control. Genéricamente, se agrupan bajo el nombre de **acondicionamiento de potencia** y, quizás, los de uso más frecuente son los reguladores de la carga de baterías y los convertidores DC-AC ó inversores.

En cada sistema en particular, alguno de estos elementos puede no existir. Con excepción del generador fotovoltaico, todos los elementos pertenecen al ámbito de lo que podríamos llamar tecnología convencional, sobre la que existe una gran experiencia. Por ejemplo, la fabricación industrial de baterías de plomo ácido comenzó en el siglo pasado y, en la actualidad, sólo en España, se fabrican anualmente más de dos millones de unidades.

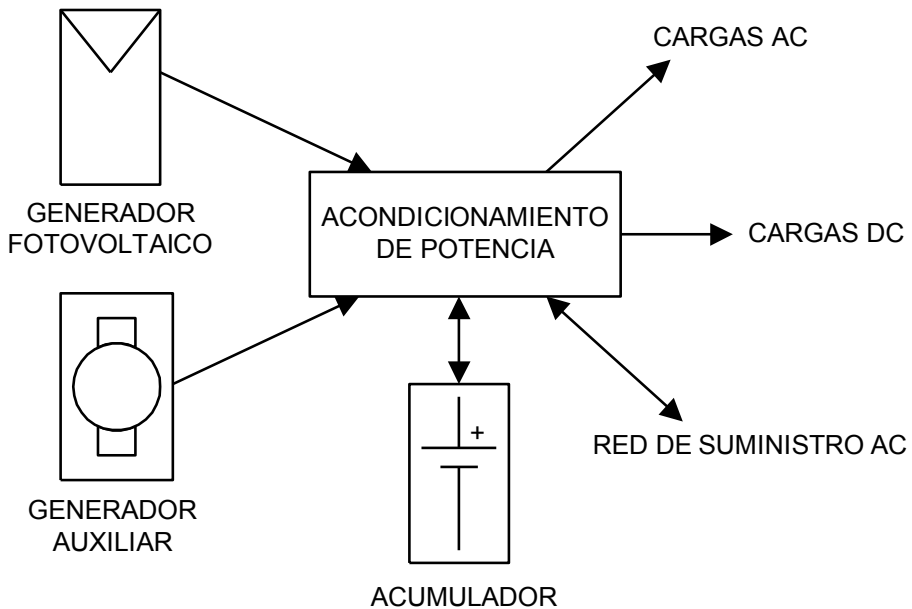


Figura 1-1. Constitución general de un sistema fotovoltaico

1.4.1. CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Las aplicaciones más habituales donde se utiliza la energía solar fotovoltaica son:

- En telecomunicaciones, ya que son muchos los equipos relacionados con la telecomunicación, en general, que se ubican en lugares de difícil acceso (montañas, oteros, etc.) y, con frecuencia, alejados de la Red Eléctrica Convencional. Tiene sentido recurrir a la solución fotovoltaica cuando su

coste es inferior al de extender la red. Como idea general, puede pensarse que el consumo diario máximo de un sistema para que el empleo de la energía solar fotovoltaica sea la mejor alternativa es del orden de 5 Kwh por cada kilómetro de lejanía a la red.

- En la electrificación rural, puesto que entre el 75 y el 80 % de la población mundial no tiene acceso a las redes de distribución de electricidad. Este contexto, y por, razones económicas similares a las señaladas en el apartado anterior, ha permitido el desarrollo de un importante sector del mercado fotovoltaico destinado a la electrificación de viviendas, escuelas, granjas, etc.
- Aplicaciones agropecuarias, dado que algunas industrias del ramo agropecuario se caracterizan por ser relativamente intensivas en ocupación de suelo y, a la vez, poco consumidoras de energía. Por ejemplo, un cebadero para 20.000 pollos puede ocupar 4.000 m² (2.000 de nave y 2.000 de terreno aledaño) y no consumir, en iluminación, ventilación, bombeo de agua y comederos automáticos más que 8 Kwh al día. La diferencia entre los precios del terreno con y sin acceso a la red eléctrica puede llegar a ser tan grande (entre 3 y 8 veces en España) que, por sí sola, justifica inversiones en sistemas fotovoltaicos de cierta entidad.
- En el bombeo de agua ya que los recursos hídricos tienden a disminuir en muchas zonas del planeta, en parte debido al aumento de población y, en parte, debido a las sequías pertinaces que se repiten desde la década de los 70. En amplias zonas de África y Asia existen ya graves problemas de abastecimiento y la situación tiende a empeorar. En este contexto, se entiende la creciente necesidad de energía para bombear agua desde pozos y ríos. Los sistemas de bombeo fotovoltaicos presentan características que los hacen especialmente atractivos para estas regiones. Por un lado, son relativamente pequeños y extremadamente fiables y, por otro, su particular forma de trabajo, consistente en bombear poco caudal durante mucho tiempo, se adapta bien a las características de los pozos de estas regiones.

En la conexión a la red eléctrica y en términos estrictamente económicos, la inyección en la red eléctrica de energía de origen fotovoltaico sólo se justifica si su coste es comparable al de las fuentes de energía convencional, lo que no es el caso en el momento de escribir este texto. Sin embargo, otras razones, como la preocupación por el futuro suministro de energía, la reducción de emisiones contaminantes, etc., han dado origen a la implementación de numerosos programas de apoyo a esta aplicación, hasta el punto de convertirla en un sector importante del mercado.

La modularidad propia de la tecnología fotovoltaica hace que el coste unitario de la energía producida dependa poco del tamaño de los sistemas. Cualquier tamaño es, por lo tanto, posible.

1.4.2. SITUACIÓN ACTUAL Y PREVISIONES DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN 2000

Durante el año 2000, la producción mundial de células solares ha aumentado en un 44% y la potencia instalada en la unión europea ha crecido en un 29%. Esta tendencia deberá reforzarse en el año 2001 con la entrada en vigor de los nuevos programas nacionales fotovoltaicos de conexión a red y la implicación, cada vez con mayor fuerza, en el sector de los grandes grupos petrolíferos.

En Europa, el crecimiento fotovoltaico se queda a la sombra del sector eólico. Las células fotovoltaicas son más discretas y menos mediáticas (mediatizadas). Sin embargo, el desarrollo del sector es, aunque los niveles de potencia en juego sean menores, tan fuerte como el de la energía eólica. Durante el año 2000, la producción mundial de células fotovoltaicas ha conseguido un avance del 44%, lo que lleva su capacidad a 288,55MWp. El crecimiento registrado en 1999 fue cercano al 30%.

País	1999	2000	Crecimiento en %
España	11,1	18,66	68,1%
Francia	9,1	15,3	68,1%
Alemania	9	15,5	72,2%
Italia	2,9	3,8	31,0%
Holanda	2	2,2	10,0%
Hungría	1,2	2,2	83,0%
Resto de Europa	4,5	3,9	-13,3%
Total Europa	38,6	61,56	59,5%
EE.UU.	53,7	74,97	39,6%
Japón	49,2	128,6	161,4%
India	9,2	11,96	30,0%
Australia	5,1	5,76	12,9%
China	1,6	2,5	56,3%
Resto del mundo	8,5	3,2	-62,4%
Total Mundial	199,9	288,55	44,35%

Tabla 1-1. Localización de la producción de células fotovoltaicas (en MWp)

Para seguir leyendo haga click aquí