

HERRAMIENTA DOCENTE PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS ADAPTADA A LOS NUEVOS CRÉDITOS ECTS (Design SFA v1.0)

F. J. MUÑOZ, C. RUS, F. ALMONACID, J.D. AGUILAR, L. HONTORIA, J. AGUILERA, P.J. PEREZ. M. ALBIN, M. LORENTE, M. TORRES

Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Jaén. España.

fjmunoz@ujaen.es, crus@ujaen.es, facruz@ujaen.es, aguilar@ujaen.es, hontoria@ujaen.es, aguilera@ujaen.es.

En esta comunicación se presenta una herramienta software de carácter docente orientada al aprendizaje del diseño Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFA). Esta herramienta constituye un paso más en la adaptación de las asignaturas “Instalaciones fotovoltaicas” y “Electricidad Fotovoltaica”, ofertadas actualmente por la Universidad de Jaén en el plan de estudios correspondiente a Ingeniero Técnico Industrial en las especialidades de: Mecánica, Electricidad y Electrónica Industrial, al nuevo Grado de Ingeniería Electrónica Industrial en su intensificación de Sistemas Fotovoltaicos y al nuevo sistema de créditos ECTS. Así mismo, el diseño de los SFA también conforma un módulo del Máster de Energías Renovables impartido en esta misma Universidad.

Palabras clave: Sistemas Fotovoltaicos Autónomos, Diseño, Autoaprendizaje, Software.

1. Justificación

Las asignaturas *Instalaciones Fotovoltaicas* y *Electricidad Fotovoltaica* son materias optativas en la titulación de Ingeniero Técnico Industrial ofertadas en las especialidades de: Electrónica Industrial, Electricidad y Mecánica. En el nuevo Grado de Ingeniería Electrónica Industrial aparecen las asignaturas *Introducción a los Sistemas Fotovoltaicos* (obligatoria) e *Instalaciones Fotovoltaicas* si el alumno decide optar por la intensificación de Sistemas Fotovoltaicos.

Los objetivos de estas asignaturas se centran en que el alumno adquiera las competencias necesarias, a nivel cognitivo, procedimental-instrumental así como actitudinal para que quede capacitado en el diseño, cálculo y análisis de instalaciones fotovoltaicas, tanto conectadas a red como autónomas.

Debido al carácter multidisciplinar de estas asignaturas, el alumnado se enfrenta a un gran salto a nivel conceptual, tanto en su vertiente teórica como práctica, ya que es la primera vez que el alumno entra en contacto con la Energía Solar Fotovoltaica. En ese sentido, se hace totalmente necesario que el docente considere y aproveche todos los medios a su alcance para favorecer el aprendizaje de las mismas.

Es muy frecuente que, en la actualidad, los alumnos sigan centrando su aprendizaje exclusivamente en los apuntes suministrados por el profesor de la asignatura y en las colecciones de problemas propuestos por este último. No obstante, las nuevas tecnologías ponen a nuestro alcance una serie de medios que presentan un alto potencial docente. En ese sentido, la utilización de estos últimos podrá redundar en la

calidad de la enseñanza, favoreciendo un aprendizaje autónomo, lo que a su vez permitirá que el aprendizaje sea más interesante para el alumno.

2. Objetivos

Como objetivos generales del presente trabajo se pueden destacar los siguientes

- Tomar el testigo y dar continuidad al trabajo ya iniciado con el Proyecto de Innovación Docente (PID) denominado *Elaboración de Material Docente y Realización de Aplicación Software para el Cálculo de Radiación*, de apoyo al aprendizaje de las asignaturas: *Instalaciones fotovoltaicas y Electricidad fotovoltaica*, anteriormente mencionadas, y a la asignatura de *Dispositivos Electrónicos* (2º Ciclo de Ingeniería Industrial) en la adaptación de los programas de las asignaturas indicadas anteriormente al nuevo sistema de créditos ECTS. Este Proyecto de Innovación Docente se concretó en una comunicación al VIII Congreso del TAAE 2008 [1]
- Ofrecer al alumno herramientas software que faciliten el estudio y comprensión de las asignaturas y que le estimulen a alcanzar los conocimientos exigidos mediante un trabajo autónomo y una participación activa dirigida por el profesor.

3. Contenidos

El contenido de la herramienta desarrollada, *Design SFA*, es el que a continuación se indica:

1. **Aplicación software de Diseño de SFA (Fig.1).** Con esta aplicación el alumno podrá diseñar un SFA que cubra las necesidades de la aplicación a la que va orientado. Este diseño vendrá conformado por los siguientes apartados:
 - Estimación del Consumo de la Instalación
 - Dimensionado del generador fotovoltaico (GFV).
 - Dimensionado del sistema de acumulación.
 - Dimensionado del regulador de carga.
 - Dimensionado de las unidades acondicionadoras de potencia.
 - Dimensionado del cableado.
2. **Base de Datos de diferentes componentes fotovoltaicos utilizados** (e.g. Módulos fotovoltaicos, reguladores de carga, baterías, inversores, acondicionadores de potencia,...). Cada componente presentará un enlace a su correspondiente hoja de características en formato PDF, así como un enlace a la página web del fabricante. De esta forma, el alumno podrá no sólo dimensionar los diferentes elementos de una instalación fotovoltaica autónoma, sino que podrá escoger, dentro de un amplio abanico de componentes existentes en el mercado, el que se más amolde a las necesidades de la aplicación que se pretende diseñar.
3. **Base de datos de irradiación diaria media mensual para distintas inclinaciones y para las diferentes capitales de provincia españolas.** Estas se obtendrán a partir de los datos proporcionados por el Joint Research Centre (JCR) a través de su página web <http://sunbird.jrc.it/solarec/index.htm>. Esta información será de gran importancia para el alumno a la hora de dimensionar el tamaño del generador fotovoltaico y escoger la inclinación adecuada para el mismo. Así mismo, en el mismo programa se incluirá un documento que explique como obtener datos de irradiación diaria mensual para diferentes inclinaciones y para localidades no incluidas en la base de datos del programa utilizando el enlace anteriormente indicado.



Figura 1. Pantalla de inicio de *Design SFA v1.0*

HOJAS DE CARACTERISTICAS										
BATERIAS	Absolyte	BAE	Classic	Delphi	Fianm	Hoppecke	Sonnenschein	Sunlight	Sunlyte	Volver a Dimens. Batería
	Absolyte IP	Secura OPzV	Gama Classic	Freedom2000	Gama Fianm	Solar Bloc	Solar	Gama OPzS	Sunlyte	
	Absolyte XL	Secura OPzS				Solar Power	OPzV	OPzS extendida		
						OPzS	AR00 Solar			
						Power Block OPzS	Solar Block			
						OPzV				
						Power Block OPzV				
						FUC				
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	BP Solar	Conergy	Isofotón	Sanyo	Sharp	Shell	Solarworld	Solon	Uni-Solar	Volver a Config. 1 Volver a Config. 2 Volver a Config. 3 Volver a Config. 4
	BP 3160	C 125-P	IS-75 / 12	HP-205NKHE1	ND-62RU2	SMS-H	SW155/ /175 poly ST	Blue 220/03	ES-62T	
	BP 3165	S 170M-175M	IS-150S / 12	HP-210NKHE1	ND-72	SH65	SW160/ /185 mono	Blue 220/07	ES-124	
	BP 3170	S 190P/200P	IS-150S / 24	HP-215NKHE1	NE-80EJEA	SG70	SW200/ /225 poly	P220/6+07	PVL-136	
	BP 7180		IS-200 / 32	HP-220NKHE1	ND-123UJF	SG75		P220/6+	US-5	
	BP 7185			HP-225NKHE1	ND-N2EJUF	Ultra 80/85-P			US-11	
	BP 7190				ND-167U1Y	SM110-122			US-64	
	BP 7190				NE-170U1	SM110-24P				
	Poli Serie 3				NT-175U1	SQ140-PC				
					ND-167U1F	SQ150-PC				
				ND-218U1F	SQ160-PC					
				ND-218U2						
REGULADORES DE CARGA	Conergy	Maatervolt	MorningStar	Steca	Xantrex					Volver a Dimens. Regulador de carga
	SCC eco	SCM-N 20/40	ProStar	Solum	C12 Controller					
	SCC vision		SunGuard	PR Night	Serie C					
			SHS	PR 0303/0505						
			SunKeeper	PR 1010/ /3030						
			SunSaver	PR 2020-IP						
			SunLight	Solarix						
			SunSaver Duo	Solarix 2401/4441						
			TriStar	Solarix ST						
				Solarix PRS						

Figura 2. Extracto de la Base de Datos de los componentes utilizados en *Design SFA v1.0*. Se incluyen Hojas de Características de los mismos.

4. Design SFA V1.0

El software utilizado para el desarrollo de la herramienta docente es Microsoft Excel® con macros en Visual Basic (VBA). La elección de este software radica en su gran versatilidad, su fácil uso, una adecuada interfaz gráfica y a la amplia difusión y disponibilidad que presenta este software.

En la herramienta docente se habilitan diferentes pestañas para el dimensionado de cada uno de los componentes que conforman el sistema a diseñar. Así mismo, se permitirá una gran interactividad por parte del alumno: este último podrá estudiar el efecto de diferentes parámetros en el diseño del sistema, el programa ofrecerá diferentes tipos gráficos que permitan establecer estudios comparativos entre la elección de uno u otro componente, se incluirán en el programa diferentes hipervínculos a documentos elaborados por el profesorado donde se puedan encontrar los conceptos teóricos necesarios para el diseño de SFA, así como la diferente Normativa que los ampara, etc. Todo ello orientado a favorecer y promover el autoaprendizaje del alumno.

4.1 Estimación del consumo de las cargas.

Esta será la primera pestaña que tendrá que ser rellenada por el alumno. Aquí se hace una estimación del consumo de las cargas que se introduzcan en el SFA, figura 3. Si el consumo del sistema es constante durante todo el año sólo se rellenará la tabla perteneciente al mes de enero, figura 4, siendo éste el consumo que se considerará a lo largo de todo el año; en caso contrario, se tendrán que rellenar las demás tablas, una para cada mes, cuya dinámica para rellenarlas será exactamente igual que para la del mes de enero. En este ejemplo ilustrativo, el consumo será constante, siendo los datos y resultados del mes de enero los aplicables a todos los meses.

ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE LAS CARGAS

CONSUMO CONSTANTE

SI NO

NOTA: Si el consumo es cte. rellene sólo el mes de Enero, y éste será el que se aplicará a todos los meses.

TENSIÓN NOMINAL DEL SISTEMA

12 V 24 V 48 V 96 V

Figura 3. Elección del tipo de consumo y de la tensión nominal del sistema.

La tensión nominal del sistema se seleccionará en el recuadro de la derecha de la figura 3 que, como se observa, permite la elección de 12V, 24V, 48V ó 96V.

Como se puede apreciar en la figura 4, se dispondrá una tabla con una serie de columnas en la que se irán introduciendo los distintos datos que se necesitarán para hacer una estimación del consumo de los aparatos eléctricos de nuestro sistema. Se hace una distinción entre las cargas en corriente continua (DC) y las de corriente alterna (AC), dando al usuario la libertad de conectar cargas que funcionen a una tensión distinta de la que opera nuestro SFA.

Las casillas de color blanco serán las únicas que el alumno pueda modificar, excepto las de la columna de tensión nominal del sistema, que automáticamente reflejará el valor seleccionado en el recuadro derecho de la figura 3; las sombreadas en amarillo claro mostrarán datos intermedios, y las sombreadas en un amarillo más oscuro nos darán datos finales del sistema. Esta información, en cuanto a colores se refiere, es aplicable para todas las demás pestañas del programa.

ENERO											
Descripción de la carga	Cantidad	Tensión de la carga (V)	Tensión nominal del sistema (V)	Potencia de la carga (W)	Ciclo de servicio diario (HORAS)	Ciclo de servicio semanal (DÍAS/SEMANA)	Factor de rendimiento de conversión de potencia (DECIMAL)	Corriente necesaria para la carga (A)	Potencia necesaria para la carga (W)	Cantidad de carga (AH/DÍA)	Energía (WH/DÍA)
DC											
Iluminación	8	12	24	15	4	7	0,85	5,88	141,18	23,53	564,71
Radio	1	12	24	20	4	3	0,85	0,88	23,53	1,68	40,34
Frigorífico	1	24	24	70	0,5	7	1	2,92	70,00	1,46	35,00
Congelador	1	24	24	100	2	7	1	4,17	100,00	6,33	200,00
AC											
Televisión	1	220	24	50	4	7	0,9	2,31	55,98	9,28	222,22
Microondas	1	220	24	600	0,25	6	0,9	27,78	666,67	5,95	142,86
Ordenador portátil	1	220	24	90	1,5	5	0,9	4,17	100,00	4,46	107,14
Potencia total necesaria para la carga (W)	D C	335	A C	822	Cantidad de carga total (AH/DÍA)		Energía total (WH/DÍA)				
					54,68		1312,26				
Tensión nominal del sistema (V)	Corriente máxima en DC (A)	Corriente máxima en AC (A)	Corriente máxima total (A)	Potencia máxima total (W)	Cantidad de carga total (AH/DÍA)	Energía total (WH/DÍA)	Factor de rendimiento de conductores (DECIMAL)	Factor de rendimiento de batería (DECIMAL)	Cantidad de carga total corregida (AH/DÍA)	Energía total corregida (WH/DÍA)	
24	13,95	34,26	48,21	1156,93	54,68	1312,26	0,98	0,90	61,99	1487,83	

Figura 4. Estimación del consumo del conjunto de aparatos eléctricos del SFA.

4.2. Determinación de la Potencia/inclinación del Generador Fotovoltaico

En esta pestaña una vez elegida la ubicación del SFA y la orientación de los módulos, se decidirá con qué método se dimensionará el GFV, ofreciendo la posibilidad de escoger entre el método de “Corriente pico” y el método de “Potencia pico”, figura 5, calculándose, respectivamente, la corriente mínima o la potencia mínima que el GFV tiene que aportar al sistema para satisfacer la demanda energética de éste. Así mismo, también se ofrece la posibilidad de dimensionar el GFV en base al criterio del “Mes crítico” o al criterio de la “Media anual”. Es decir, se permite al usuario la elección de las siguientes posibilidades de dimensionado:

- Método de “Corriente pico” y criterio del “Mes crítico”.
- Método de “Corriente pico” y criterio de la “Media anual”.
- Método de “Potencia pico” y criterio del “Mes crítico”.
- Método de “Potencia pico” y criterio de la “Media anual”.

Además de determinar la corriente o potencia mínimas que tiene que producir el GFV, en esta parte del diseño del SFA también se determinará la inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos para obtener dicha capacidad mínima del GFV. Como es lógico, la capacidad mínima e inclinación variará dependiendo del criterio seleccionado.

A modo de ejemplo, se ilustrarán las diferentes etapas del dimensionado del GFV considerando el método de corriente Pico y siguiendo el criterio del mes peor.

DETERMINACIÓN DE ÁNGULO DE INCLINACIÓN Y CAPACIDAD DEL SISTEMA

MÉTODO A APLICAR:

Corriente Pico
 Potencia Pico

Figura 5. Elección del método a aplicar.

En la figura 6 se observa la radiación global diaria media mensual para cada mes de la ciudad elegida, para una orientación sur en este caso y a diferentes inclinaciones.

UBICACIÓN DEL SISTEMA		Jaén	LATITUD (°)		37,77	LONGITUD (°)		-3,79	ORIENTACIÓN		Sur			
RADIACIÓN GLOBAL MEDIA DIARIA (KWh/m ² ·día)														
ORIENTACIÓN	INCLINACIÓN (°)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
S	0	2,181	3,003	4,606	5,336	6,447	6,903	7,033	6,178	5,161	3,714	2,567	1,839	4,581
S	5	2,442	3,261	4,886	5,506	6,533	6,945	7,100	6,331	5,422	4,014	2,856	2,067	4,780
S	10	2,686	3,500	5,139	5,642	6,581	6,942	7,122	6,447	5,647	4,292	3,131	2,286	4,951
S	15	2,914	3,717	5,361	5,750	6,586	6,897	7,100	6,528	5,839	4,542	3,383	2,492	5,092
S	20	3,125	3,911	5,547	5,819	6,564	6,811	7,039	6,572	5,992	4,764	3,617	2,681	5,204
S	25	3,317	4,083	5,700	5,856	6,508	6,703	6,950	6,578	6,108	4,956	3,828	2,856	5,287
S	30	3,489	4,228	5,814	5,853	6,411	6,558	6,822	6,539	6,183	5,114	4,014	3,011	5,336
S	35	3,639	4,347	5,892	5,817	6,275	6,372	6,647	6,458	6,219	5,242	4,175	3,147	5,353
S	40	3,764	4,439	5,933	5,744	6,100	6,147	6,433	6,339	6,217	5,333	4,308	3,264	5,335
S	45	3,864	4,503	5,933	5,636	5,889	5,886	6,178	6,178	6,172	5,392	4,414	3,361	5,284
S	50	3,942	4,536	5,897	5,494	5,642	5,589	5,886	5,981	6,092	5,417	4,492	3,433	5,200
S	55	3,992	4,544	5,825	5,317	5,361	5,258	5,556	5,744	5,969	5,406	4,539	3,486	5,083
S	60	4,017	4,519	5,714	5,108	5,058	4,931	5,217	5,472	5,808	5,358	4,556	3,517	4,940
S	65	4,017	4,469	5,567	4,872	4,742	4,575	4,856	5,172	5,611	5,278	4,544	3,525	4,769
S	70	3,989	4,389	5,383	4,608	4,397	4,192	4,469	4,850	5,381	5,161	4,503	3,508	4,569
S	75	3,936	4,281	5,167	4,319	4,031	3,789	4,056	4,503	5,114	5,011	4,431	3,469	4,342
S	80	3,856	4,147	4,917	4,011	3,642	3,369	3,619	4,133	4,817	4,831	4,331	3,408	4,090
S	85	3,753	3,986	4,636	3,681	3,244	2,981	3,192	3,739	4,492	4,619	4,200	3,325	3,821
S	90	3,625	3,800	4,328	3,331	2,853	2,578	2,772	3,328	4,139	4,381	4,044	3,222	3,533

Figura 6. Radiación global media diaria (KWh/m²·día o HSP).

Una vez que se tienen los datos referentes al consumo de la instalación y los correspondientes a radiación diaria media mensual se procederá a calcular la relación entre cantidad de carga total consumida y la radiación diaria media mensual para cada mes y cada inclinación, figura 7. Esta relación indica la corriente mínima necesaria en el GFV.

En la figura 7 aparecen tres nuevas columnas: “corriente máx”, “mes crítico” y “corriente media”.

- La columna “*corriente máx*” refleja el mayor valor de corriente requerida para cada inclinación.
- La columna “*mes crítico*” muestra, para cada inclinación, el mes en el que el valor de corriente necesaria es mayor, es decir, el mes en el que el GFV tendría que proporcionar mayor corriente, dado que éste será el más desfavorable. Como es obvio, esta columna, al igual que la anterior, sólo será útil cuando estemos dimensionando el sistema según el criterio del “Mes crítico”.
- La columna “*corriente media*” muestra, para cada inclinación, el valor resultante de dividir la cantidad de carga diaria media anual necesaria entre la radiación global diaria media anual que se recibe a dicha inclinación. Es decir, son los valores de corriente que, para cada inclinación, tendrá que generar el GFV. Esta columna sólo será de utilidad cuando estemos dimensionando según el criterio de la “Media anual”.

RELACIÓN ENTRE CANTIDAD DE CARGA TOTAL CORREGIDA Y RADIACIÓN GLOBAL MEDIA DIARIA (A)																
ORIENTACIÓN	INCLINACIÓN (°)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	CORRIENTE MÁX	MES CRÍTICO	CORRIENTE MEDIA
S	0	28,42	20,64	13,46	11,62	9,62	8,98	8,81	10,03	12,01	16,69	24,15	33,71	33,71	DIC	13,53
S	5	25,39	19,01	12,69	11,26	9,49	8,93	8,73	9,79	11,43	15,44	21,71	29,99	29,99	DIC	12,97
S	10	23,08	17,71	12,06	10,99	9,42	8,93	8,70	9,62	10,98	14,44	19,80	27,12	27,12	DIC	12,52
S	15	21,27	16,68	11,56	10,78	9,41	8,99	8,73	9,50	10,62	13,65	18,32	24,88	24,88	DIC	12,17
S	20	19,84	15,85	11,18	10,65	9,44	9,10	8,81	9,43	10,35	13,01	17,14	23,12	23,12	DIC	11,91
S	25	18,69	15,18	10,88	10,59	9,53	9,25	8,92	9,42	10,15	12,51	16,19	21,71	21,71	DIC	11,73
S	30	17,77	14,66	10,66	10,59	9,67	9,45	9,09	9,48	10,03	12,12	15,44	20,59	20,59	DIC	11,62
S	35	17,04	14,26	10,52	10,66	9,88	9,73	9,33	9,60	9,97	11,83	14,85	19,70	19,70	DIC	11,58
S	40	16,47	13,97	10,45	10,79	10,16	10,09	9,64	9,78	9,97	11,62	14,39	18,99	18,99	DIC	11,62
S	45	16,04	13,77	10,45	11,00	10,53	10,53	10,03	10,03	10,04	11,50	14,04	18,44	18,44	DIC	11,73
S	50	15,73	13,67	10,51	11,28	10,99	11,09	10,53	10,36	10,18	11,44	13,80	18,06	18,06	DIC	11,92
S	55	15,53	13,64	10,64	11,66	11,56	11,79	11,16	10,79	10,39	11,47	13,66	17,78	17,78	DIC	12,20
S	60	15,43	13,72	10,85	12,14	12,26	12,57	11,88	11,33	10,67	11,57	13,61	17,63	17,63	DIC	12,55
S	65	15,43	13,87	11,14	12,72	13,07	13,55	12,77	11,99	11,05	11,75	13,64	17,59	17,59	DIC	13,00
S	70	15,54	14,12	11,52	13,45	14,10	14,79	13,87	12,78	11,52	12,01	13,77	17,67	17,67	DIC	13,57
S	75	15,75	14,48	12,00	14,35	15,38	16,36	15,28	13,77	12,12	12,37	13,99	17,87	17,87	DIC	14,28
S	80	16,08	14,95	12,61	15,46	17,02	18,40	17,13	15,00	12,87	12,83	14,31	18,19	18,40	JUN	15,16
S	85	16,52	15,55	13,37	16,84	19,11	20,80	19,42	16,58	13,80	13,42	14,76	18,64	20,80	JUN	16,23
S	90	17,10	16,31	14,32	18,61	21,73	24,05	22,36	18,83	14,98	14,15	15,33	19,24	24,05	JUN	17,54

Figura 7. Relación entre cantidad de carga total en Ah/día y la radiación media diaria mensual en HSP. Indica la corriente mínima necesaria en el GFV (A).

Si se va a utilizar el criterio del “Mes crítico” para dimensionar el SFA, el programa tomará de todas las corrientes de la columna “*corriente máx*” la menor de ellas, de forma que se minimice la corriente necesaria del GFV para hacer frente a las necesidades energéticas del peor mes, escogiendo así la inclinación óptima, figura 8. En cambio, si se va a dimensionar a partir del criterio de la “Media anual”, el programa cogerá de todas las corrientes de la columna “*corriente media*” la menor de ellas, como la mínima corriente que el GFV tiene que generar para hacer frente a las necesidades energéticas medias anuales.

CONFIGURACIÓN ÓPTIMA DEL SISTEMA (CRITERIO DEL MES CRÍTICO)			
CORRIENTE MÍN (A)	INCLINACIÓN (°)	MES CRÍTICO	HSP (H/DÍA)
17,59	65	DIC	3,525

Figura 8. Configuración óptima del sistema según el criterio del “Mes crítico” y el método de “Corriente pico”.

Documentación técnica	MARCA DEL MÓDULO		MODELO						
	Isofotón		IS_200_32						
	Corriente del sistema (A)	Factor de reducción del módulo (DECIMAL)	Corriente corregida del sistema (A)	Corriente en el MPP del módulo (A)	Módulos en paralelo	Temperatura ambiente máx del sistema (°C)	Irradiancia (W/m²)	Temperatura de la célula (°C)	
	17,59	0,90	19,54	4,35	5	45,00	750,00	70,31	
	Factor de seguridad (DECIMAL)	Tensión nominal de la batería (V)	Baterías en serie	Tensión necesaria para la carga de la batería (V)	Tensión de cto. abierto a la Tª ambiente seleccionada (V)	Módulos en serie	Módulos en paralelo	Nº total de módulos	Precio total de módulos (€)
	1,20	6	4	28,80	47,94	1	5	5	5250,00

Figura 9. Cabecera de la pestaña “Dimensionado del GFV del sistema con el método de Corriente pico”, según el criterio del “Mes crítico”

4.3. Dimensionado del Generador Fotovoltaico

A continuación, el alumno deberá abordar los cálculos de dimensionado del GFV escogiendo un módulo fotovoltaico determinado, figura 9. En esta pestaña, el alumno tendrá una mayor libertad al poder disponer de hasta cuatro módulos fotovoltaicos diferentes, lo que posibilitará el análisis de hasta cuatro configuraciones distintas del GFV, para así poder compararlas y elegir la que más adecuada. Se ha considerado también el aspecto económico debido a que esta parte del sistema es una de las más costosas y la que mayor repercusión tiene en el coste final de la instalación. Así, el alumno podrá tener una visión global acerca de las prestaciones de su sistema y del coste del mismo en cuanto a este método de dimensionado.

Lo primero que habrá que hacer en esta pestaña es pulsar el botón de “documentación técnica” para poder consultar las hojas de características de los diferentes modelos de módulos fotovoltaicos. Una vez que el alumno sepa qué tipo de módulo va a escoger, tendrá que seleccionar éste en “marca del módulo” y “modelo”, figura 10.

INFORMACIÓN DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO						
DESCRIPCIÓN						
Isofotón IS_200_32						
Tensión (V)	Nominal	En el punto de máxima potencia (V_{MPP})	Circuito abierto (Voc)	Coefficiente de temperatura de V_{oc} (mV/°C)	Células en serie	TONC (°)
	32	46,08	57,60	2,220	96	47
Corriente (A)	En el punto de máxima potencia (I_{MPP})	Cortocircuito (Isc)	Células en paralelo			
	4,35	4,70	1			
Otras características	Potencia nominal (W)	Precio por módulo (€)				
	200	1050				

Figura 10. Información del módulo fotovoltaico.

Módulos en paralelo	Corriente en el MPP del módulo (A)	Corriente en el MPP del GFV (A)
	4,35	21,75
5	Corriente de cortocircuito del módulo (A)	Corriente de cortocircuito del GFV (A)
	4,70	23,50
Módulos en serie	Tensión en el MPP del módulo (V)	Tensión en el MPP del GFV (V)
	46,08	46,08
1	Tensión de circuito abierto del módulo (V)	Tensión de circuito abierto del GFV (V)
	57,60	57,60

Figura 11. Resultados finales con el método de “Corriente pico” y el criterio del “Mes crítico”.

Después de haber seleccionado el módulo fotovoltaico y rellenar las casillas en blanco, se pueden ver los cálculos finales de la configuración elegida, tal y como se muestra en la figura 10.

Para interpretar mejor los datos obtenidos en esta configuración, se muestra una gráfica, figura 12, que relaciona la cantidad de carga consumida por las cargas con la cantidad de carga generada por el GFV para cada uno de los módulos estudiados. De esta manera, el alumno podrá observar qué superávit o déficit (en el caso de que se hubiera escogido el criterio de máxima captación anual) de cantidad de carga diaria hay en cada mes.

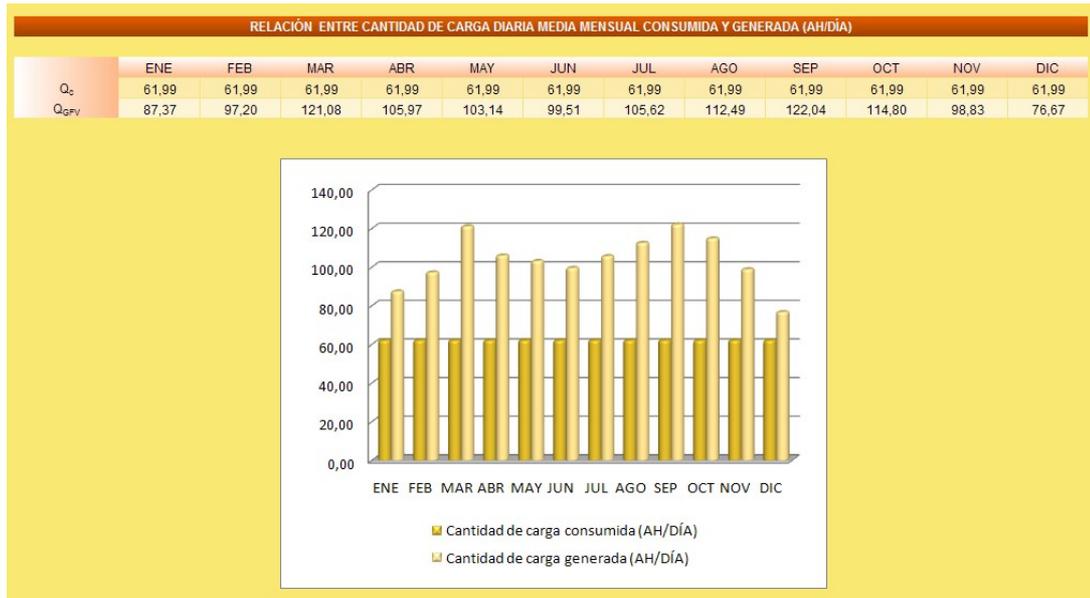


Figura 12. Relación entre cantidad de carga diaria media mensual consumida (Q_c) y generada (Q_{GFV}) en Ah/día, según el criterio del “Mes crítico”.

Una vez que se hayan completado las cuatro configuraciones existentes, el alumno podrá seleccionar una de ellas. Una vez seleccionada la configuración más adecuada, el programa mostrará automáticamente toda la información del módulo, los resultados más importantes y la gráfica de la cantidad de carga consumida y generada de dicha configuración.

4.4. Dimensionado de la Batería

En la pestaña “Dimensionado de la batería del sistema”, figura 13, este software ofrece la posibilidad de elegir entre varias marcas de baterías, existiendo dentro de cada marca varios modelos entre los que habrá que seleccionar uno de ellos. La elección del tipo de batería es posible gracias a la base de datos con la que cuenta el software. Para el cálculo de la capacidad del sistema de acumulación se han tenido en cuenta dos tipos de ciclos de descarga: el ciclo de descarga estacional y el diario.

4.5. Dimensionado del Regulador de Carga

Esta pestaña, figura 14, será la encargada del dimensionado del regulador de carga que controlará la carga y descarga de la batería. El objetivo principal en este apartado será obtener la corriente máxima que va a circular por el regulador bien a la entrada del mismo (corriente del GFV) bien a la salida de éste (corriente demandada por las cargas).

DIMENSIONADO DE LA BATERÍA DEL SISTEMA

Documentación técnica

MARCA: Hoppecke MODELO: Power.bloc_OPzS_250

Ciclo de descarga estacional	Cantidad de carga total corregida (AH/DÍA)	Días de autonomía (DÍAS)	Factor de profundidad máxima de descarga estacional (DECIMAL)	Factor de corrección de temperatura (DECIMAL)	Capacidad necesaria de la batería (AH)	Capacidad de la batería elegida (AH)	Baterías en paralelo
	61,99	5	0,80	0,90	430,51	250,00	2

Ciclo de descarga diario	Cantidad de carga total corregida (AH/DÍA)	Factor de profundidad máxima de descarga diaria (DECIMAL)	Factor de corrección de temperatura (DECIMAL)	Capacidad necesaria de la batería (AH)	Capacidad de la batería elegida (AH)	Baterías en paralelo
	61,99	0,20	0,90	344,40	250,00	2

INFORMACIÓN DE LA BATERÍA	DESCRIPCIÓN		CONFIGURACIÓN DE LA BATERÍA		Baterías en serie	Baterías en paralelo	Total de baterías
	Tensión (V)	Capacidad (AH)	Tensión nominal del sistema (V)	Tensión nominal de la batería (V)			
Hoppecke Power.bloc_OPzS_250	6	250	24	6	4	2	8
			Baterías en paralelo	Capacidad de la batería elegida (AH)	Capacidad de la batería del sistema (AH)	Capacidad necesaria de la batería del sistema (AH)	
			2	250,00	500,00	430,51	

Figura 13. Vista general de la pestaña “Dimensionado de la Batería del Sistema”.

MARCA DEL REGULADOR: Conergy MODELO: SCC_40_vision

Documentación técnica

CARACTERÍSTICAS

DESCRIPCIÓN

Conergy SCC_40_vision

Desconexión del regulador por baja tensión (V)	Reconexión del regulador por baja tensión (V)	Tensión nominal de trabajo (V)	Corriente del GFV para el regulador (A)	Corriente del regulador para las cargas (A)
N/A	N/A	12 - 24	40,00	40,00
OK				

CORRIENTE DE ENTRADA PROCEDENTE DEL GFV				
Factor de seguridad (DECIMAL)	Corriente de cortocircuito del GFV (A)	Corriente mínima del regulador (A)	Corriente del GFV para el regulador (A)	Reguladores en paralelo
1,25	16,16	20,20	40,00	1

CORRIENTE DE SALIDA HACIA LAS CARGAS				
Factor de seguridad (DECIMAL)	Corriente máxima (A)	Corriente mínima del regulador (A)	Corriente del regulador para las cargas (A)	Reguladores en paralelo
1,25	48,21	60,26	40,00	2

Reguladores en paralelo: **2**

Figura 14. Dimensionado del Regulador de Carga.

Para conocer cuál será la corriente instantánea demandada por las cargas en el peor de los casos se recurrirá a la tabla indicada en la figura 15. Tal y como se aprecia en esta figura, en la esquina superior izquierda de esta pestaña hay un comando llamado “Consumo simultáneo máximo”. Si en éste se indica “SI” se considerará que todas las cargas del sistema pueden funcionar simultáneamente. La otra opción sería indicar “NO”, en cuyo caso se tendrá que rellenar la tabla, introduciendo las cargas que se consideren que van a estar funcionando simultáneamente en el caso más desfavorable (mayor demanda de corriente). Como se puede observar, la tabla consta de dos partes diferenciadas, una para el consumo en corriente continua y otra para el consumo en corriente alterna.

DIMENSIONADO DEL REGULADOR DE CARGA

CONSUMO SIMULTÁNEO MÁXIMO
 SI NO
 NOTA: Si NO es "simultáneo máximo" rellene la siguiente tabla.

	Descripción de la carga	Cantidad	Tensión de la carga (V)	Potencia de la carga (W)	Tensión nominal del sistema (V)	Factor de rendimiento de conversión de potencia (DECIMAL)	Corriente de la carga (A)
DC	Iluminación	6	12	25	24	0,85	7,35
	Frigorífico	1	24	70	24	1	2,92
	Congelador	1	24	100	24	1	4,17
AC	Televisión	1	220	50	24	0,9	2,31
	Microondas	1	220	600	24	0,9	27,78
Corriente total de las cargas (A)							44,53

Figura 15. Dimensionado del Regulador de Carga. Cálculo de la corriente máxima demandada por las carga.

La mayor de estas dos corrientes será la que deba soportar el regulador de carga. En el caso de no disponer de un regulador de carga que cumpla estos requisitos, el software calculará los reguladores en paralelo necesarios para satisfacer las necesidades del sistema. Una vez conocidas las necesidades del sistema, el usuario elegirá un regulador de carga apropiado que cumpla con los requerimientos de la instalación, seleccionando éste en “marca del regulador” y “modelo”. Antes de seleccionar la marca y el modelo del regulador sería interesante consultar la “documentación técnica” para consultar la gama de reguladores de carga.

4.5. Acondicionamiento de potencia

En este apartado se procederá al dimensionado de los elementos acondicionadores de potencia. Por un lado, se hará el dimensionado del inversor para las cargas que funcionen a corriente alterna y por otro lado se dimensionará el convertidor DC/DC para las cargas en continua que trabajen a una tensión diferente de la del sistema. Como se observa en la figura 16, los parámetros utilizados para el dimensionado de uno y otro elemento son prácticamente los mismos, con la salvedad de que en el inversor se tiene en cuenta la forma de onda de la señal de entrada y en el convertidor DC/DC se incluye la columna de “tensión de la carga” a modo de información al usuario.

5. Proyección y utilidad de la herramienta

Los resultados derivados de la experiencia están siendo muy satisfactorios. Se ha desarrollado una herramienta que, aparte de ofrecer los contenidos teóricos relativos al diseño de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos, permite, por parte del alumno, un alto grado de interactividad para desarrollar con más profundidad los diferentes conceptos teóricos de la asignatura. En ese sentido, el alumno puede no sólo resolver los ejercicios y prácticas propuestos, sino que puede modificar los datos de partida, y observar cómo afectan los mismos en el diseño final de las aplicaciones estudiadas.

DIMENSIONADO DEL INVERSOR

INVERSOR 1

Descripción de las cargas AC funcionando simultáneamente	Cantidad	Potencia nominal de la carga (W)	Potencia nominal total (W)
Televisión	1	50	50
Ordenador portátil	1	90	90
Potencia nominal total de las cargas AC (W)			140

Documentación técnica

MARCA: Mastervolt MODELO: _24_200

CONFIGURACIÓN DEL INVERSOR

DESCRIPCIÓN
Mastervolt _24_200

FORMA DE ONDA
Senoidal pura

Tensión nominal de entrada (V)	Tensión nominal de salida (V)	Factor de seguridad (DECIMAL)	Potencia nominal de las cargas (W)	Potencia nominal necesaria (W)	Potencia nominal elegida (W)
24	220	1,20	140	168	200
OK					

DIMENSIONADO DEL CONVERTIDOR DC/DC

CONVERTIDOR DC/DC 1

Descripción de las cargas DC funcionando simultáneamente	Cantidad	Potencia nominal de la carga (W)	Tensión de la carga (V)	Potencia nominal total (W)
Iluminación	7	15	12	105
Radio	1	20	12	20
Potencia nominal total de las cargas DC (W)				125

Documentación técnica

MARCA: AMV MODELO: SD_200B

CONFIGURACIÓN DEL CONVERTIDOR DC/DC

DESCRIPCIÓN
AMV SD_200B

Tensión nominal de entrada (V)	Tensión nominal de salida (V)	Factor de seguridad (DECIMAL)	Potencia nominal de las cargas (W)	Potencia nominal necesaria (W)	Potencia nominal elegida (W)
19 - 36	12 - 48	1,20	125	150	200
OK					

Figura 16. Vista general de la pestaña “Acondicionamiento de potencia”.

Durante el curso académico 2008/2009 se ha desarrollado la herramienta. En el siguiente curso académico (2009/2010) se distribuirá la herramienta a los alumnos, bien a través de la plataforma ILIAS, bien a través de soportes electrónicos (e.g. DVD) y se apreciará la eficacia de la misma. Esto nos permitirá una retroalimentación que será muy interesante a la hora de la elaboración definitiva de la herramienta. Así no se perderá el punto de vista de los alumnos, que, en definitiva es crucial, porque a ellos va dirigido la misma. Se observará la evolución del aprendizaje de los alumnos, comparándola con resultados obtenidos en años anteriores. Así mismo, se pretende desarrollar un cuestionario que se aplicará al final de curso para sondear la opinión del alumno sobre esta nueva herramienta. Los resultados derivados de este último serán determinantes para valorar la eficacia de la herramienta docente propuesta, así como de las posibles mejoras a las que se puede someter a la misma.

Referencias

- [1] C. RUS, F. ALMONACID, L. HONTORIA, P. J. PEREZ Y F. J. MUÑOZ. *HERRAMIENTA PARA EL CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS*. Editorial del VIII Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica, Zaragoza (2008)