

ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Manual de instrucciones del equipo	7
2.1. Especificaciones	7
2.2. Aspecto	7
2.3. Modo de funcionamiento	8
3. Memoria del Proyecto Final de Carrera 1	11
4. Programa en lenguaje C del microprocesador PIC18F4620.	61
5. Datos de los componentes (Contenido en CD).	
5.1. Placas fotovoltaicas SUNTECH STP165S .	
5.2. Inversor fotovoltaico SMA SB700 .	
5.3. Microprocesador PIC18F4620 .	
5.4. LCD EVERBOUQUET MC2004E .	
5.5. Relé FINDER 66.22.9.012.0000 .	
5.6. Transductor de corriente LEM LAH 25-NP .	
5.7. Conversor niveles TTL a RS-232 MAX232 .	
5.8. Transistor NPN BC337 .	

1. INTRODUCCIÓN

Este último volumen incluye todo a lo que se ha hecho referencia durante el desarrollo del presente Proyecto Final de Carrera. Estos anexos incluyen una parte en papel y en digital, como el resto del proyecto; y una parte sólo en versión digital: los datasheets y las fotografías.

En estos anexos se incluye el manual de instrucciones del equipo que refleja el funcionamiento del prototipo del equipo diseñado. Asimismo se adjunta también el anteproyecto que se realizó en el Proyecto Final de Carrera 1, íntegro. Y por último en versión impresa se ha adjuntado el programa en lenguaje C del compilador CCS.

Además de incluir todos estos documentos en su versión digital, sólo en esta versión se incluyen las características técnicas de las placas fotovoltaicas y del inversor fotovoltaico de la Escuela, como referencia y los datasheets de todos los componentes utilizados. Por último se puede encontrar una carpeta con fotos del prototipo y su realización.

2. MANUAL DE INSTRUCCIONES

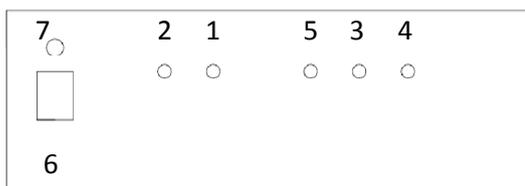
A continuación se presenta el manual de instrucciones del prototipo, una aproximación a sus especificaciones, su uso y sus funciones.

2.1. Especificaciones:

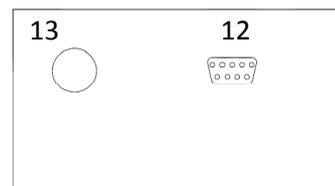
- El módulo se debe de alimentar con dos fuentes de tensión: una de 5V y otra de $\pm 12V$.
- El equipo tiene dos entradas: la de las placas fotovoltaicas y los inversores. En estas entradas no pueden circular más de 250 V y 5,5 A.
- El rango de medida se garantiza de 0,3 A a 5,5 A y de 100 V a 210V.
- El tiempo mínimo entre medidas es de 10 segundos.
- Muestras realizadas por medida 250, con posibilidad de transmisión al ordenador.

2.2. Aspecto:

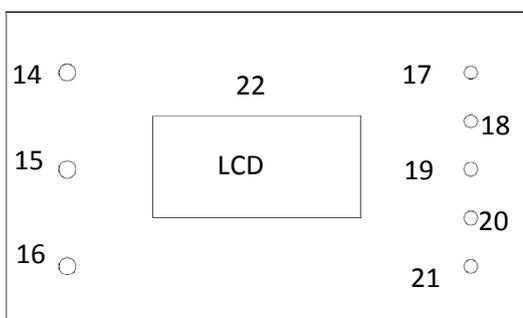
El equipo presenta el siguiente aspecto y la descripción de sus partes es:



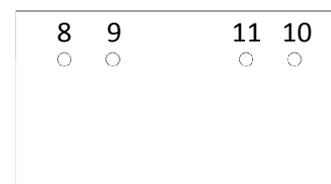
Vista trasera.



Vista lateral derecha.



Vista superior.



Vista lateral izquierda.

1. Alimentación +5V.
2. Masa de la fuente de 5V.
3. Alimentación +12V.
4. Alimentación -12V.
5. Masa de la fuente de $\pm 12V$.
6. Interruptor de ON/OFF.
7. Botón de reset.
8. Positivo placas.
9. Negativo placas.
10. Positivo inversor.
11. Negativo inversor.
12. DB9 (comunicación PC).
13. Interruptor manual/auto.
14. Botón de medida.
15. Botón de transmitir a PC.
16. Botón de medida actual.
17. Indicador ON/OFF.
18. Indicador medida.
19. Indicador transmisión.
20. Indicador manual/auto.
21. Indicador medida actual.
22. Pantalla LCD.

2.3. Modo de funcionamiento:

Para que el equipo funcione lo primero que hay que hacer es alimentarlo a 5 V y a $\pm 12 V$ en las entradas indicadas en la parte trasera del módulo. A su vez se deben conectar las placas e inversores en sus respectivas entradas en el lateral izquierdo del módulo. Una vez alimentado ya se puede encender el módulo apretando el interruptor de ON/OFF (6). Al encender el interruptor se iluminará el indicador de ON/OFF (17) y aparecerá un mensaje de bienvenida en la pantalla LCD (22), esto indica que el módulo está preparado para ser utilizado.

Primero de todo se debe seleccionar el modo de operación: en manual o automático. Para cambiar de automático a manual y viceversa hay que apretar el botón de manual/auto (13). El indicador de manual/automático (20) se encenderá en el momento en que esté activada la opción automática.

Si se elige la opción de automático el módulo hará las medidas de tensiones y corrientes cada 10 segundos, mientras realiza las medidas se encenderá el indicador de medida (18) para avisar de que el equipo está ocupado realizando dicha medida o en la descarga del condensador. Cuando acaba el barrido de la característica, muestra por la pantalla LCD la potencia máxima conseguida y con qué tensión y corriente ha ocurrido eso. El indicador de medida se apagará al acabar la descarga del condensador (unos 5 – 6 segundos después).

En cambio, si se activa la opción manual se debe presionar el botón de medida (14) para iniciar el ensayo. El comportamiento del equipo es el mismo que se produce en cada ensayo en el caso del automático.

Si se quiere consultar la tensión, corriente y potencia que actualmente están circulando por los inversores hay que apretar el botón de medida actual (16). Se

encenderá el indicador de medida actual (21) y la pantalla LCD mostrará lo que actualmente hay. *(Se debe esperar a que haya terminado de realizar la medida del punto de máxima potencia para consultar los valores actuales de tensión, corriente y potencia)*. Asimismo, estos valores actuales desaparecen automáticamente de la pantalla LCD en el momento de realizar el siguiente análisis de la curva y también se apaga el indicador de medida actual.

Este instrumento incorpora la opción de transmitir todas las muestras recogidas a un PC por el puerto serie, con la posibilidad de convertir dicha transmisión a USB. Para poder transmitir los datos hay que conectar el conector DB9 (12) al puerto serie de nuestro ordenador (o al USB mediante un conversor). Una vez conectado se debe presionar el botón de transmisión (15) siempre después de que haya realizado alguna medida. Mientras esté transmitiendo los datos se encenderá el indicador de transmisión (19). No se apagará hasta que haya transmitido todos los datos. *(Mientras se envían los datos no realizar ninguna medida)*.

Si por cualquier cosa se desea reinicializar el módulo existe un botón de reset (7). Si se pulsa el sistema se reinicia y mostrara en la pantalla el mensaje de bienvenida.

3. MEMORIA DEL PROYECTO

FINAL DE CARRERA 1:

ÍNDICE:

1. Objeto del proyecto	13
2. Motivación	14
3. Introducción	15
3.1. Energías renovables	15
3.2. Generación fotovoltaica	16
3.3. Característica Tensión – Corriente de un generador	19
3.4. Instalaciones fotovoltaicas	22
3.5. Reguladores, baterías e inversores	23
4. Diagrama del proyecto	24
5. Posibles soluciones y elección	25
5.1. Parte analógica	25
5.1.1. Alimentación del equipo	25
5.1.2. Electrónica de conexión/desconexión de los inversores	27
5.1.3. Generación del barrido en tensión/corriente	30
5.1.4. Medida de tensión	35
5.1.5. Medida de corriente	35
5.2. Parte digital	38
5.2.1. Conversor analógico/digital	38
5.2.2. Microcontrolador	39
5.2.3. Interface con el usuario	45
5.2.3.1. Selectores y botones	45
5.2.3.2. Visualización de datos	45
5.2.4. Comunicación con un PC	46

6. Software	50
6.1. Especificaciones básicas del programa	50
6.2. Descripción general del programa	50
6.3. Diagrama de flujo	51
7. Normativa	52
8. Estudio temporal: Diagrama de Gantt	53
9. Estudio económico	55
10. Bibliografía y enlaces	57

1. Objeto del proyecto:

El objetivo de este Proyecto Final de Carrera es el diseño y la realización del prototipo de un equipo para la caracterización de generadores fotovoltaicos que sea completamente autónomo en su funcionamiento; es decir, que se base en un microcontrolador que pueda realizar los cálculos necesarios con los datos obtenidos y guardados. Fundamentalmente esta caracterización se basará en el análisis de toda la curva de tensión-potencia del generador para obtener el punto de máxima potencia y poder calcular, en ese momento concreto, a qué tensión de trabajo se produce ese punto.

De este modo, se podrá conectar el aparato entre el generador y el inversor y en cualquier instante de tiempo realizar la medida de tensiones y corrientes a lo largo de toda la curva y obtener todos los puntos. Una vez medidos y almacenados en memoria, serán procesados y el mismo equipo nos dará los parámetros del punto de máxima potencia (tensión, corriente y la misma potencia).

Para conseguir tal objetivo se efectuará un estudio del mundo de las energías renovables, sobretodo sobre las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, para tener un conocimiento básico del problema a resolver; prestando especial atención a la curva tensión-potencia de todo generador fotovoltaico que es la característica que se va a estudiar.

Posteriormente se realizará un trabajo en hardware y en software. El trabajo de hardware se dividirá en la parte analógica, que será la que se encargará de alimentar el equipo, de conectar y desconectar el inversor fotovoltaico, la generación del barrido de tensión y corriente y de medir las magnitudes eléctricas (tensión y corriente); y la parte digital que se fundamentará en la conversión de las medidas analógicas en digitales, el proceso y almacenamiento de las mismas, la comunicación con el usuario del equipo (entradas y salidas) y la conexión con un PC para el posible volcado de los datos de la medida. El trabajo en software se realizará sobre el programa que debe llevar grabado el microcontrolador para efectuar todas las operaciones.

En conclusión, el diseño estará pensado para poder obtener el máximo rendimiento de cualquier generador en un momento determinado, puesto que el equipo facilitará los datos del punto de máxima potencia.

2. Motivación:

Una clara opción por las energías renovables como energía de futuro, nos ha llevado a optar por este proyecto. También nos ha empujado el sentido del máximo aprovechamiento de los recursos disponibles para obtener la máxima energía posible; en este caso, que la máxima radiación solar que capta el generador sea transformada en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico.

Además este es un proyecto que nos atrae, puesto que combina el apoyo a las energías renovables para un máximo aprovechamiento de los recursos con la electrónica analógica y digital vistas a lo largo de toda la carrera; por lo tanto creemos que, como síntesis de todos los conceptos aprendidos en las distintas clases y asignaturas, es un proyecto ideal.

Un añadido a esta motivación general es el hecho de que en la Escuela se dispone de generadores fotovoltaicos instalados en la azotea de la misma y unos inversores en un laboratorio que inyectan la corriente obtenida a la red eléctrica. Para poder realizar la parte práctica de este proyecto hemos decidido tomar como referencia estos paneles solares e inversores, puesto que el prototipo lo deberemos probar en esta instalación.

Por supuesto el proyecto escogido nos abrirá puertas al conocimiento de aspectos que nos son desconocidos ahora mismo, tanto de la energía solar fotovoltaica, como de la misma electrónica; puesto que debemos realizar un equipo capaz de muchas acciones que no todas se han dado en clase y que, por lo tanto, deberemos aprender por nosotros mismos.

3. Introducción:

Este capítulo pretende presentar muy brevemente, puesto que ya se describirá a fondo en la memoria del proyecto final de carrera II, el estado del arte en el campo de las energías renovables, en concreto de la fotovoltaica, haciendo especial hincapié en los conceptos que más interesan para poder entender este proyecto.

3.1. Energías renovables:

Las **energías renovables** son aquellas que son inagotables a escala humana y son respetuosas con el medio ambiente; es decir, que su impacto ambiental es mucho menor que el de las energías convencionales (petróleo, gas i carbón).

Aunque haya sido en las últimas décadas cuando ha crecido el interés por este tipo de energía, ésta ha sido aprovechada por el hombre desde los tiempos clásicos hasta el inicio de la Revolución Industrial, momento en el que apareció el carbón, con una densidad energética mucho mayor a las conocidas hasta entonces. Posteriormente al carbón apareció el petróleo y el último en serle descubierta su utilidad fue el gas natural.

Hoy en día las reservas mundiales de estos combustibles fósiles se están acabando y es por este motivo que los profesionales energéticos y la sociedad en general empiecen a mirar hacia las energías renovables. Éstas provienen en gran medida del Sol, el gran proveedor de energía de la Tierra, que además de proporcionar luz visible, también transforma la biomasa por medio de la fotosíntesis, en viento las diferencias térmicas de la atmosfera, etc. Así pues las energías renovables con mayor impulso y competitividad hoy en día son: eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica y solar.

La gran ventaja de estas energías es que pueden ser convertidas a los dos tipos de energía más utilizados en nuestro planeta: térmica y eléctrica; a más a más, de ser respetuosas con el medio ambiente (hasta 31 veces menor es el impacto ambiental de las renovables que las convencionales), de no emitir gases contaminantes y no generar residuos y que consiguen disminuir la dependencia de suministros externos de calor y electricidad.

Así pues es inevitable no hablar del concepto de **sostenibilidad**, puesto que este tipo de energías están llamadas a ser las energías del futuro ya que al utilizar la energía del Sol

para producir otras energías no se producen cambios sustanciales en el equilibrio terrestre: principio básico de la sostenibilidad.

El Sol proporciona energía sin transformar que calienta e ilumina. El uso de dicha energía se puede realizar de distintos modos:

- Por utilización directa: incorporación en las construcciones de elementos con una alta absorción térmica: **energía solar térmica pasiva**.
- Por transformación en calor: es la **energía solar térmica** que aprovecha la radiación infrarroja solar para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos.
- Por transformación en electricidad: es la **energía solar fotovoltaica**, que transforma en corriente eléctrica la radiación solar por medio de células fotovoltaicas. Es en este tipo de energía en el que se centra el presente proyecto, puesto que el equipo se destinará a medir las características de los generadores fotovoltaicos.

3.2. Generación fotovoltaica:

La generación fotovoltaica se basa en el **efecto fotovoltaico** que consiste en la conversión de luz en electricidad. Este proceso se consigue a partir de **materiales semiconductores** que son fotosensibles y que poseen la propiedad de absorber **fotones** y emitir **electrones**; en el momento que los electrones libres son capturados, se genera una corriente eléctrica que se puede usar como electricidad.

En este efecto es importante tener claro que los átomos del semiconductor utilizado en la célula fotovoltaica son eléctricamente neutros hasta el momento en que los fotones (partículas que forman los rayos solares) inciden en el material. En este momento, se rompen los enlaces entre núcleo y electrones de valencia (los de la última órbita del átomo) que se convierten en electrones libres que pueden circular por el semiconductor. En el instante en que un electrón (carga eléctrica negativa) se desplaza, se crea un **hueco** (carga eléctrica positiva) y gracias a la aplicación de un **campo eléctrico** (tensión) en el semiconductor, se crea una corriente eléctrica; de lo contrario los electrones libres y los huecos se recombinarían.

Las células fotovoltaicas se fabrican, habitualmente, de **silicio** (4 electrones de valencia), los átomos de este material se unen químicamente en lo que se llama **unión p-n**. Para obtener una zona del tipo n se substituyen algunos átomos de silicio por átomos de fósforo (5 electrones de valencia), quedando 1 electrón libre fuera de los enlaces entre

átomos, así que ésta es una zona cargada negativamente. Para obtener, por el contrario, una zona del tipo p se substituyen algunos átomos de silicio por átomos de boro (3 electrones de valencia), faltando electrones para formar los enlaces en la molécula; es decir, con huecos disponibles y, por lo tanto, carga positiva. En poner en contacto una superficie del tipo n con una del tipo p se crea una unión p-n con un campo eléctrico permanente.

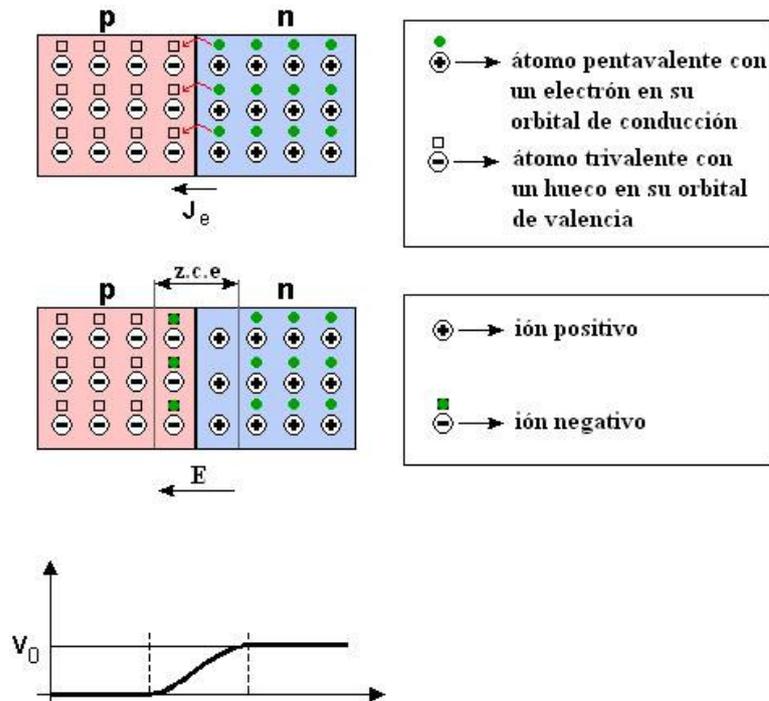


Figura 1. Esquema de la unión p-n.

La **célula fotovoltaica**, encargada de convertir la radiación solar en electricidad, es un dispositivo formado por una lámina de semiconductor de entre 0,25 y 0,35 mm de grosor y, normalmente, 100 cm². Esta lámina está formada por una capa de semiconductor tipo n (por dónde incide la luz) y otra capa de mayor espesor del tipo p. En el momento en que la luz incide sobre la célula, como se ha dicho, se rompe el enlace hueco-electrón y el campo eléctrico de la unión se encarga de separarlos evitando que se recombinen llevando los electrones a la zona n y huecos a la zona p. Por medio de un conductor externo con una carga, se conecta la zona n con la p creando así un flujo de electrones (corriente eléctrica) entre las dos zonas. La intensidad de la corriente generada será proporcional a la cantidad de luz recibida por la célula.

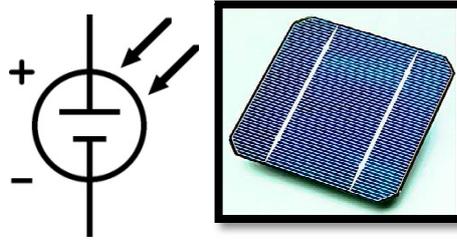


Figura 2. Símbolo y fotografía de una célula fotovoltaica.

Los tipos de células fotovoltaicas de silicio son tres:

- Silicio monocristalino: el más utilizado; con una estructura ordenada y comportamiento uniforme.
- Silicio policristalino: con una estructura ordenada en cada región separada.
- Silicio amorfo: con un alto grado de desorden.

Además encontramos otros tipos de células: de película delgada y de arseniuro de galio; mucho menos utilizadas que las anteriores y en proceso de investigación.

Las células fotovoltaicas se agrupan en **paneles fotovoltaicos** de modo que configuran unas condiciones determinadas de tensión y potencia que fija el mercado. La agrupación en los paneles proporciona a las células una mayor resistencia mecánica, protección contra los agentes externos y aislamiento eléctrico. Uno de los objetivos de los paneles es favorecer la máxima captación evacuando el calor producido para mejorar el rendimiento del panel. Es importante tener en cuenta que las células que forman un mismo panel tienen los mismos parámetros eléctricos. Un panel fotovoltaico dispone de una cubierta superior, hecha de vidrio templado especial para dejar pasar la máxima luz; una cubierta inferior, opaca y con la función de proteger de agentes externos; un material encapsulante, entre las dos cubiertas y envolviendo las células, que suelen ser: siliconas, polivinilo y EVA (etil-vinil-acetileno); un soporte metálico, sobre el cual se monta el panel y unos elementos eléctricos externos, cables y cajas de conexiones que permiten la conexión de los mismos.



Figura 3. Aspecto de unos paneles fotovoltaicos.

3.3. Característica Tensión – Corriente de un generador:

Todo panel fotovoltaico, como generador, tiene una curva característica derivada de la curva característica de la célula fotovoltaica. Para poder comprender la curva veamos, primero, el circuito y la ecuación que relaciona ambas magnitudes que se deriva del mismo:

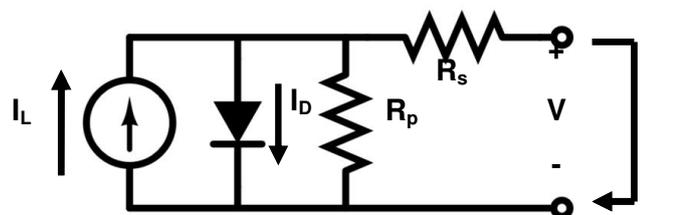


Figura 4. Circuito equivalente a una célula fotovoltaica.

En el circuito equivalente vemos una fuente, que es la que proporciona la energía; un diodo que simboliza la unión p-n de la misma y las resistencias en serie y paralelo asociadas. La ecuación que se obtiene del circuito equivalente para relacionar las magnitudes es:

$$I = I_L - I_D - \frac{V}{R_p} - \frac{V}{R_s}$$

Ecuación 1. Corriente de una célula fotovoltaica a partir de los parámetros físicos.

Donde:

- $V_t = kT/q$.
- I_L , I_0 , m , R_s y R_p son los parámetros de la célula fotovoltaica en cuestión.
 - I_L es la corriente fotogenerada. [A]
 - I_0 es la corriente de oscuridad. [A]
 - m es el factor de idealidad del diodo.
 - R_s es la resistencia equivalente en serie. [Ω]
 - R_p es la resistencia equivalente en paralelo. [Ω]
 - V_t es el voltaje térmico (dónde k es la constante de Boltzmann, $k=1,3854 \times 10^{-23}$ [JK]; T la temperatura de la célula en [K] y q la carga del electrón, $q=1,6021 \times 10^{-19}$ [c]).

El comportamiento de una célula fotovoltaica ideal, es decir: R_s nula, R_p infinita e I_D nula, se grafica de este modo:

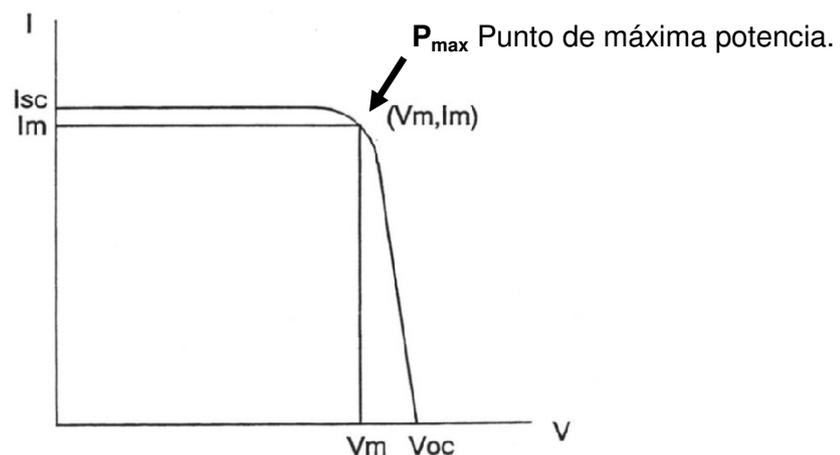


Figura 5. Comportamiento de una célula fotovoltaica ideal.

Donde:

- I_{sc} es la corriente de cortocircuito (tensión 0V). [A]

- I_m es la corriente del punto de máxima potencia. [A]
- V_{oc} es la tensión a circuito abierto (corriente 0A). [V]
- V_m es la tensión del punto de máxima potencia. [V]

La ecuación que se obtiene a partir de este circuito es la siguiente:

$$I = I_{sc} - I_0 \left[e^{\frac{v}{v_T}} - 1 \right]$$

Ecuación 2. Corriente de una célula fotovoltaica ideal.

Aislando la tensión en el caso de circuito abierto ($I=0$):

$$V_{oc} = V_T \ln \left[1 + \frac{I_{sc}}{I_0} \right]$$

Ecuación 3. Tensión de circuito abierto de una célula fotovoltaica ideal.

Las curvas características de un panel fotovoltaico real son:

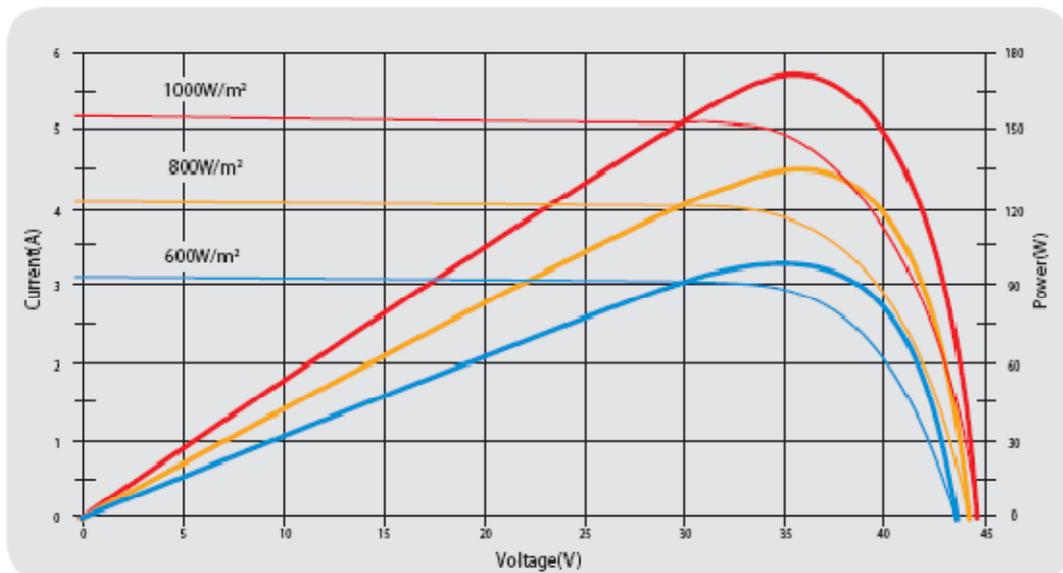


Figura 6. Curvas tensión-potencia y tensión-intensidad

en función de la irradiancia del panel fotovoltaico de la Escuela.

Como se puede observar las curvas V-I (gráficas más finas) y V-P (gráficas más gruesas) cambian según la irradiación recibida por el panel y también por la temperatura como se ha visto anteriormente. A mayor irradiación, mayor potencia.

El punto de máxima potencia tiene las coordenadas que a continuación se detallan:

$$V_m = V_{oc} - V_T \ln \left[1 + \frac{V_m}{V_T} \right] \quad I_m = I_{sc} - I_0 \left[e^{\frac{V_m}{V_T}} - 1 \right] \quad P_m = V_m \cdot I_m$$

Ecuación 4. Tensión, corriente y potencia del punto de máxima potencia.

Así pues, queda completamente definido el punto final del proyecto aquí descrito: encontrar las coordenadas (V_m e I_m) del punto de máxima potencia del generador con la irradiación que ese momento reciba el panel o conjunto de paneles y realizar una multiplicación para obtener el valor de esa potencia máxima.

Para ello se requerirá la generación de un barrido de tensión a lo largo de toda la característica tensión-corriente para obtener todos los puntos de la característica con la resolución adecuada para que el equipo sea capaz de encontrar el punto de máxima potencia con suficiente exactitud y precisión.

3.4. Instalaciones fotovoltaicas

Pero los módulos y paneles fotovoltaicos no acostumbran a estar aislados alimentando directamente a equipos, si no que están integrados en instalaciones fotovoltaicas junto a más elementos. Éstas pueden ser de distintos tipos:

- Aisladas: con o sin baterías. Tienen como principal objetivo cubrir la demanda eléctrica total o parcial de lugares donde no existe la red eléctrica. Acostumbran a estar equipadas con sistemas de acumulación.
- Conectadas a red: que no disponen de acumuladores, puesto que la energía producida durante las horas de insolación se inyecta a la red de distribución. Estas instalaciones disponen de sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red.
- Híbridas: se produce cuando una instalación fotovoltaica aislada se complementa con otros generadores de energía.

De estas instalaciones, este proyecto se centrará sobre las conectadas a red, pues será a las que esté dirigido el equipo a diseñar.

Los paneles no se acostumbran a encontrar solos en estas instalaciones conectadas a red, la asociación de paneles es la práctica más común. Los paneles se pueden asociar en serie o en paralelo, según convenga para obtener los valores necesarios de tensión y corriente requeridos por el inversor fotovoltaico posterior.

Por ejemplo, el panel STP165S-24 de la marca Suntech tiene una potencia de pico (P_m) de 165 W, una tensión a circuito abierto (V_{oc}) de 44 V, una tensión a potencia máxima (V_m) de 35,4 V, una corriente de cortocircuito (I_{sc}) de 5,05 A y una corriente a potencia máxima (I_m) de 4,66 A y para poder conectar un inversor fotovoltaico como el Sunny Boy SB 700 de SMA se necesitan rangos de tensión entre 119 y 250 V en corriente continua, un máximo de 7 A y 780 W de potencia máxima.

Por lo tanto, en este caso se debería realizar una asociación en serie (polo positivo de uno al negativo del siguiente) para que las tensiones de los paneles se sumen y conseguir los niveles adecuados de tensión. Como se puede ver, la corriente, en la asociación serie se mantiene; si se quisiera aumentar la corriente se procedería a realizar una conexión paralelo (polos positivos entre si y negativos también), por lo que, entonces, la tensión se mantendría constante.

3.5. Reguladores, baterías e inversores:

Estos tres elementos forman parte de las instalaciones fotovoltaicas y vale la pena mencionarlos aquí puesto que probablemente puedan influir en el diseño del equipo. Los dos primeros (reguladores y baterías) se usan solo en instalaciones fotovoltaicas aisladas; los inversores, por el contrario, también se usan en instalaciones conectadas a la red.

Un **regulador** de tensión se instala en los sistemas aislados para proteger a las baterías de posibles sobrecargas. Su misión: impedir que la batería siga recibiendo carga del panel solar una vez que ésta haya alcanzado su carga máxima. También controla la descarga de la misma para evitar descargas profundas y, así, que no se disminuya la capacidad del acumulador. Existen fundamentalmente dos tipos de reguladores: Shunt o paralelo y los reguladores serie.

Las **baterías o acumuladores** sirven para almacenar la energía mientras que toda la que se produce no se gaste al instante; por lo tanto son también para instalaciones aisladas. Las baterías diseñadas para los sistemas fotovoltaicos son de la tecnología plomo-ácido puesto que las especificaciones que requieren los paneles fotovoltaicos son muy específicas.

Los **inversores** sirven para transformar la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna que pueda ser consumida o bien inyectada a la red de distribución; son convertidores DC/AC. Los inversores toman la corriente continua que proviene de los paneles y alimentan sus circuitos con esta misma energía proporcionando a su salida una tensión alterna de las características deseadas, en España: 230 V eficaces y 50 Hz de frecuencia. Aquellos inversores preparados para inyectar corriente a la red, disponen de equipos de medida de la red de distribución para poder sincronizarse con la fase y la tensión de la red y así inyectar con todas las garantías.

Los inversores conectados a la red se pueden dividir en cinco bloques funcionales: el convertidor DC/AC, condicionado a convertir al mismo voltaje y fase que la red; el transformador separador que corresponde al aislamiento galvánico entre la salida del inversor y la red de distribución; el sincronizador, que indica la condición para sincronizar entre la corriente alterna del inversor y la de la red; el control, bloque encargado de controlar las entradas y salidas y el visualizador, que se encarga de presentar la información al usuario.

4. Diagrama del proyecto:

A continuación se presenta un diagrama de cómo se estudia que esté formado el equipo; las entradas al microcontrolador y las salidas del mismo. Esto dará una idea de la magnitud del proyecto y todas las tareas a desarrollar.

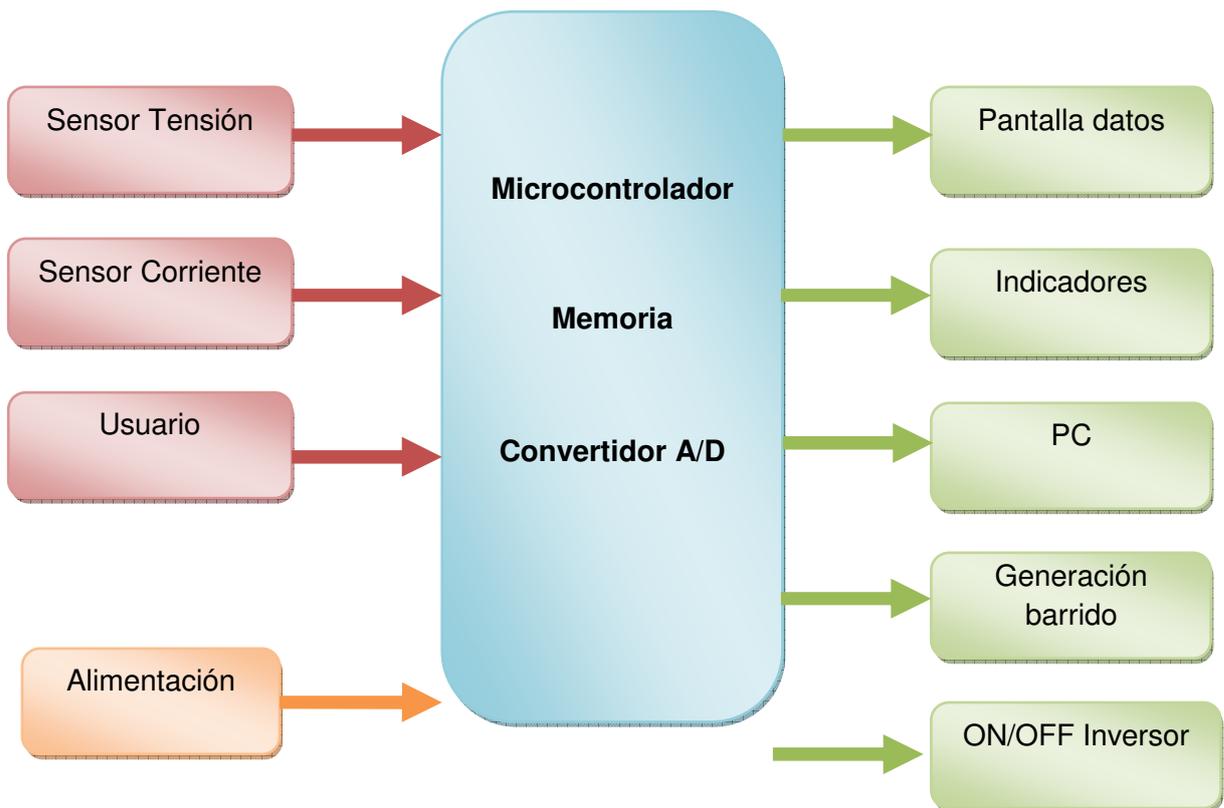


Figura 7. Diagrama del equipo.

5. Posibles soluciones y elección:

En este capítulo se presentan las posibilidades contempladas para el diseño de las partes de las que consta nuestro proyecto, todas ellas se dividen en: presentación de las posibilidades para resolver esa parte del diseño, estudio comparativo de las posibilidades y elección justificada de la solución que usaremos en el proyecto.

5.1. Parte analógica:

A continuación se presentan las posibilidades para confeccionar aquellos elementos correspondientes a la parte analógica del proyecto.

5.1.1. Alimentación del equipo:

a. Las posibilidades:

Las posibilidades consideradas para la alimentación del equipo son las siguientes:

a) Fuente de alimentación:

Una fuente de alimentación es un dispositivo que convierte la tensión alterna de la red en una tensión continua. En el siguiente diagrama se puede ver el funcionamiento interno de la fuente.

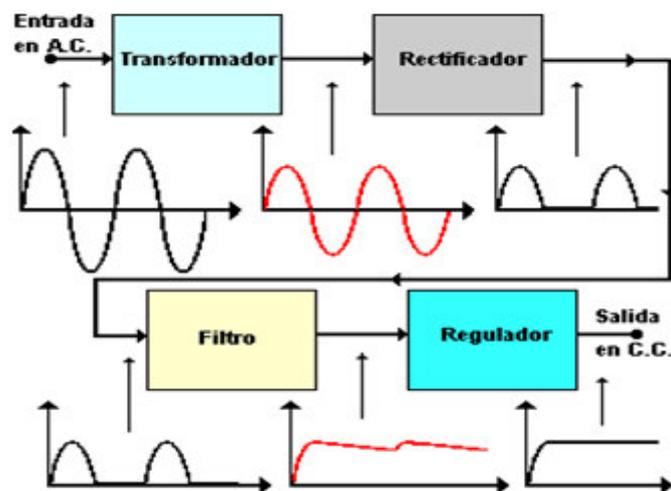


Figura 8. Diagrama de una fuente de alimentación C.A./C.C.

Primero la tensión de la red (230V/50Hz) pasa a través de un transformador para reducir la tensión a 24V o $\pm 12V$ (tensiones estándar). Luego se rectifica la tensión con un rectificador de media onda (puente de Graetz), que elimina la media onda inferior de la señal. Después se filtra la señal para que sea casi continua y finalmente es pasada por un regulador que al final también tendrá un condensador para quitar el rizado que pueda haber quedado después del primer filtrado.

b) Pilas:

Una pila es un dispositivo que convierte energía química en eléctrica. Las pilas básicamente son dos electrodos (ánodo y cátodo) metálicos sumergidos en un líquido que se llama electrolito (conductor de iones). Cuando los electrodos reaccionan con el electrolito, en el ánodo se producen electrones, y en el cátodo se produce un defecto de electrones. Cuando los electrones sobrantes del ánodo pasan al cátodo a través de un conductor externo a la pila se produce corriente eléctrica.

Las pilas tienen una vida limitada a unas pocas horas hasta unos cuantos días, dependiendo del consumo del circuito alimentado.

c) Tomar la alimentación del mismo generador al que está conectado:

Es una opción a tener en cuenta, puesto que cuando se conecte este equipo se va a realizar un ensayo a un generador que da energía, ésta se podría tomar de ahí. Esta solución vendría dada por usar una parte de la energía aportada por el generador para el funcionamiento del aparato.

Está claro que mientras se realiza la medición del generador, el equipo recibe energía de los paneles; si ésta, una vez realizada la medición, se utilizara para el funcionamiento del equipo, se conseguiría un equipo totalmente autónomo y capaz de conectarse a cualquier sitio.

Para esta opción debería estudiarse como adecuar los niveles de tensión que se obtienen a la salida del conjunto de paneles a los que funciona la electrónica interna del equipo caracterizador.

b. Estudio comparativo:

La fuente de alimentación requiere de una toma de 230 V cerca, cosa que no siempre es posible, por el contrario, las pilas o la alimentación a partir del mismo generador permiten que el equipo sea autónomo. Aún así las pilas no son una fuente inagotable de energía, se gastan y se deben reponer, y se podría quedar el equipo sin pilas en medio de un ensayo.

c. La elección:

Finalmente hemos escogido la alimentación por medio del mismo **generador fotovoltaico** puesto que sus ventajas para nuestro diseño son las óptimas. No tenemos muy claro cómo vamos a realizar el sistema; seguramente con una pequeña batería que pueda cargarse cuando el equipo se conecte a un generador fotovoltaico y que le mantenga la carga durante los instantes de medida (que no puede haber ningún otro consumo que el de la carga de medida) y otros instantes: de volcado de datos al PC, etc.

5.1.2. Electrónica de conexión/desconexión de los inversores:**a. Las posibilidades:**

Las posibilidades contempladas para la electrónica de conexión y desconexión del equipo son las siguientes:

a) Relé:

Un relé es un interruptor accionado por un electroimán que permite abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

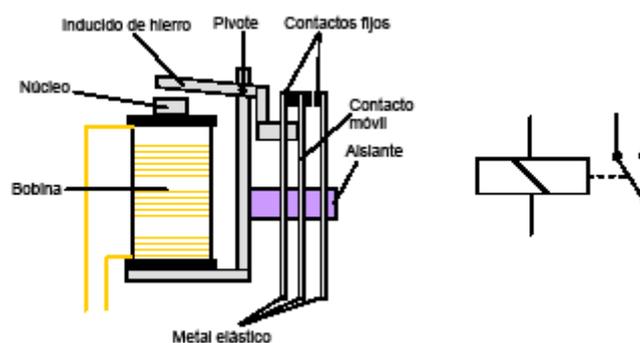


Figura 9. Parte de un relé conmutador y su símbolo eléctrico.

Un relé con dos contactos fijos se comporta como un conmutador. Cuando no hay corriente por la bobina toca a uno de los contactos fijos. En cuanto pasa corriente por la bobina se crea un campo magnético. El núcleo, que es un metal, se convierte en un electroimán que atrae al inducido. El inducido mueve el contacto móvil que cambia y toca al otro contacto fijo.

b) Interruptor/Conmutador:

Un interruptor es un dispositivo utilizado para desviar o detener el paso de la corriente eléctrica. El interruptor de siempre es el de on/off si está en on deja pasar la corriente, sino: no.

El conmutador de dos posiciones si está en A alimenta un circuito; si está en B otro distinto. Los hay de más posiciones.

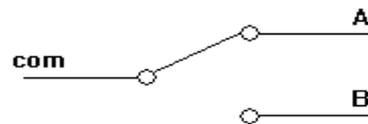


Figura 10. Conmutador de dos posiciones.

c) Transistor MOSFET:

Hay dos tipos de transistor MOSFET. Los de tipo NPN también llamados MOSFET de canal N o nMOS y los de tipo PNP también llamados MOSFET de canal P o pMOS. En los transistores nMOS el semiconductor es de tipo P y las difusiones de tipo N, en cambio en el pMOS es al contrario.

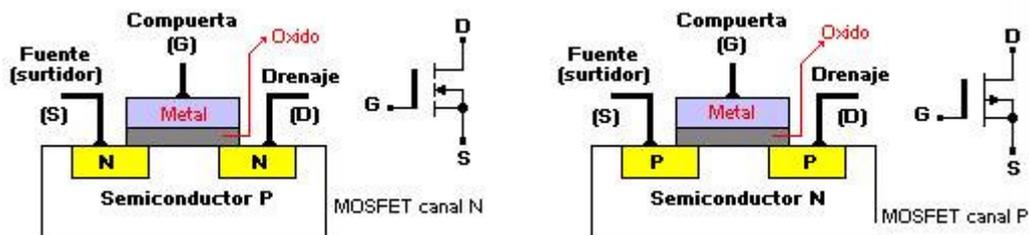


Figura 11. Tipos de MOSFET.

Si no se aplica tensión en la compuerta (G) no circula corriente entre el drenador (D) y el surtidor (S).

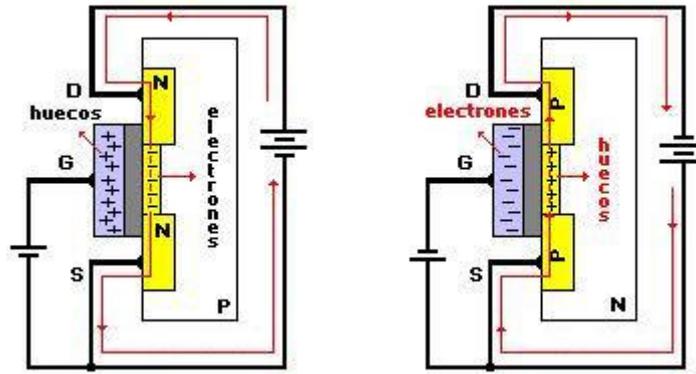


Figura 12. Funcionamiento del MOSFET.

Los MOSFET tienen tres estados de funcionamiento:

➤ Óhmica o región lineal

En óhmica el transistor MOSFET se comporta como una resistencia controlada por la tensión de la compuerta.

Para que circule corriente por el nMOS hay que aplicar una tensión positiva a la compuerta. Esto hace que se creen huecos que darán lugar a un canal de conducción. La cantidad de corriente que pasa a través del drenador y surtidor depende de la tensión aplicada en la compuerta.

Para que circule corriente por el pMOS se hace de forma similar al nMOS, solo que en los pMOS hay que aplicar una tensión negativa en la compuerta que dará lugar a que aparezcan electrones que darán lugar a un canal de conducción.

➤ Activa o saturación

Ocurre cuando se da demasiada tensión entre drenador y surtidor lo que provoca que se rompa el canal de conducción entre ellos. La corriente no desaparece pero se hace independiente a la tensión de compuerta.

➤ Corte

El transistor está en estado de corte cuando la tensión de compuerta es la misma que la del sustrato. En este caso no circula corriente entre drenador y surtidor.

Con este elemento, se podría conseguir el efecto de interruptor controlado por la tensión de la puerta; pasando de corte a saturación sin pasar por la zona óhmica, puesto que se disiparía mucha energía.

b. Estudio comparativo:

La comparativa entre estos tipos contemplados para realizar la conexión y desconexión del inversor fotovoltaico se basa en cuáles de estos métodos puede ofrecer la garantía que no hay posibilidad de que ninguna carga esté conectada durante la medición de la curva. El relé permite desconectar totalmente el inversor de los paneles conectando el equipo de una forma mecánica, por lo tanto con total aislamiento galvánico. El interruptor permite la misma operación pero de manera no automática y el MOSFET no dispone de este aislamiento galvánico.

c. La elección:

Finalmente hemos escogido la conexión y desconexión por medio de un **relé** puesto que sus ventajas para nuestro diseño son las óptimas y permite un total aislamiento galvánico entre ambos circuitos.

5.1.3. Generación del barrido en tensión/corriente:

Éste es quizá el corazón del proyecto y la manera de generar el barrido de toda la curva de tensión-intensidad marcará el desarrollo del proyecto. Es por ello que se le ha prestado una atención especial y aunque se haya optado por uno de los métodos propuestos, esta opción puede experimentarse e incluso cambiarse en el desarrollo posterior del proyecto.

a. Las posibilidades:

Las posibilidades contempladas para la generación del barrido de tensión o corriente del equipo son las siguientes:

a) Resistencia variable:

La conexión de una resistencia variable entre un valor muy cercano a 0 y un valor tendiendo a infinito a la salida del generador fotovoltaico, es la solución más fácil a este problema. Una resistencia variable es capaz de generar toda la curva i-v desde el punto de cortocircuito (resistencia 0) hasta el punto de circuito abierto (resistencia infinita).

b) A partir de una carga capacitiva:

Conectando un condensador como carga a la salida del conjunto de paneles fotovoltaicos se consigue también realizar un barrido a toda la curva, puesto que se parte del condensador descargado que es un cortocircuito (actuando como resistencia 0) hasta que éste se carga con la energía que proviene del generador y en completarse la carga actúa como circuito abierto (resistencia infinita). En este intervalo de tiempo (alrededor de 0,5 segundos) se ha recorrido toda la curva puesto que la tensión ha ido variando según la ecuación que define al condensador.

$$I_c(t) = C \frac{dV}{dT} \rightarrow A I \text{ constante} \rightarrow \int I_c dT = \int C dV \rightarrow I_c T = CV \rightarrow V = \frac{I_c \cdot t}{C}$$

Ecuación 5. Ecuación característica de un condensador en función de la tensión.

Donde:

- V es la tensión en bornes del condensador.
- I_c es la corriente de carga del condensador.
- t es el tiempo transcurrido desde el inicio de la carga.
- C es la capacidad del condensador.

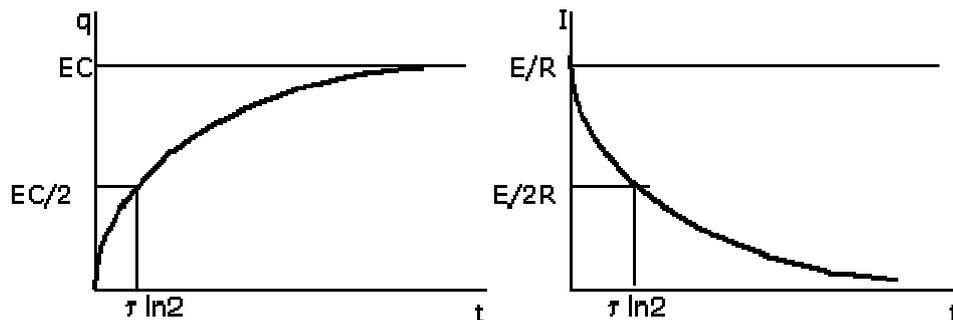


Figura 13. Carga de un condensador e intensidad durante la carga.

Puesto que esto debe ser tomado para una medida, los condensadores utilizados deben ser de alta calidad y con pequeñas pérdidas. También es importante remarcar que debe seleccionarse el valor de la capacidad para que el tiempo de medida sea el menor posible para que no cambien las condiciones de temperatura e irradiación ni tampoco se

apague el inversor conectado al generador fotovoltaico. Cabe destacar que debe conectarse una carga para descargar el condensador y hasta su completa descarga no se podrá realizar otra medida.

c) Método del amplificador bipolar:

Este método usa un tradicional amplificador de potencia de clase B con dos transistores bipolares de unión (BJT) como carga. Los transistores bipolares deben operar en los tres modos de operación: corte, activo y saturación. El problema es que la potencia generada debe ser disipada por los transistores y les convierte en unos transistores que deben ser grandes y con grandes capacidades de evacuación del calor.

En el amplificador bipolar la señal alterna (V_{in}) es la que se desea amplificar y la continua (V_{cc}) sirve para establecer el punto de operación del amplificador.

Las resistencias R_1 y R_2 forman un divisor de tensión que permiten tener una corriente en la base del transistor suficiente para polarizarlo.

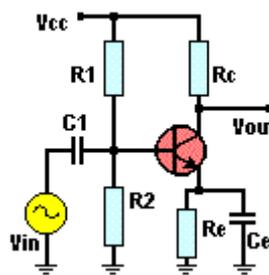


Figura 14. Esquema de un amplificador bipolar.

El punto de operación en corriente continua está sobre la línea de carga dibujada sobre las curvas del transistor. En la figura se muestra dos casos extremos:

- Cuando está en saturación, I_c es máxima y V_{ce} es 0.
- Y cuando está en corte, I_c es 0 y V_{ce} es prácticamente igual a V_{cc} .

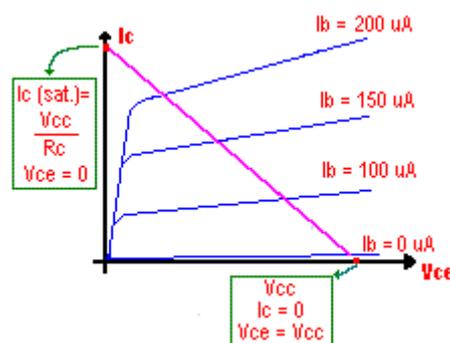


Figura 15. Modos de operación del amplificador bipolar.

El condensador C1 sirve para no dejar pasar la corriente continua que pudiera venir de la tensión de entrada. Actúa como cortocircuito para la corriente alterna y como circuito abierto para la continua.

La resistencia R_e sirve para aumentar la estabilidad del amplificador pero tiene el inconveniente de que es sensible a cambios en la temperatura. Para arreglar dicho problema se coloca un condensador (C_e) en paralelo.

d) Método de carga electrónica:

Este utiliza un transistor (MOSFET) como carga. La resistencia entre el drenador y la fuente se controla a través de la fuente de tensión de la entrada, por lo tanto a partir de la corriente del generador fotovoltaico. El MOSFET debe operar en las tres zonas de operación: corte, activa y óhmica.

e) Usando convertidores DC-DC SEPIC:

Mediante la técnica de modulación del pulso (PWM) se consigue variar la tensión continua en un convertidor DC-DC y esto permite que varios convertidores conectados en paralelo puedan simular una carga resistiva variable. Para poder realizar el barrido de tensión y corriente se debe cambiar el ciclo de trabajo (d) entre 0 y 1; esto se debe realizar con una generación de una onda que permita variar ese ciclo a una frecuencia fijada. Este tipo de montajes son capaces de medir toda la característica en unos 200 ms.

Analizando los tres tipos de convertidores (buck, boost y buck-boost) se llega a la conclusión que el mejor tipo de los tres es el buck-boost, puesto que llega a emular una resistencia verdadera porque puede llegar a valores muy cercanos a la corriente de cortocircuito y, asimismo, puede conseguir valores muy próximos a la tensión en circuito abierto.

Se propone la conexión de varios convertidores SEPIC intercalados a una misma frecuencia de conmutación pero con un desplazamiento de fase entre ellos de $2\pi/N$ radianes para conseguir el funcionamiento como un único convertidor pero reduciendo el rizado de la corriente de entrada puesto que se anulan entre ellos mismos.

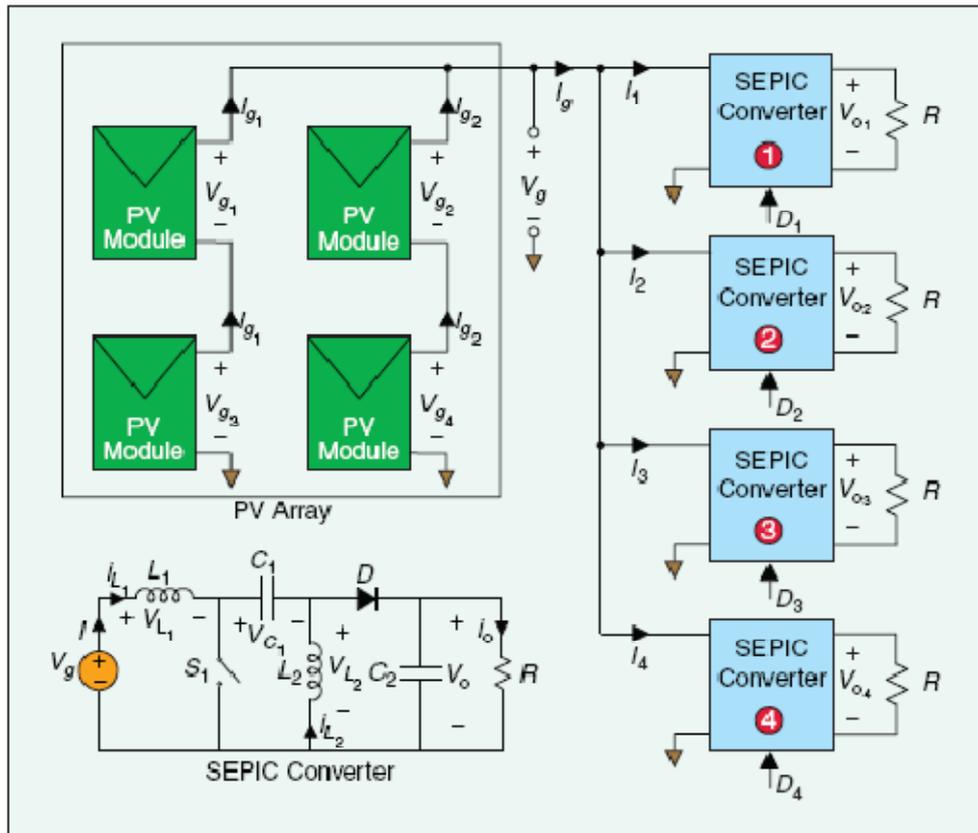


Figura 16. Estructura de un convertidor SEPIC y una propuesta de conexión.

b. Estudio comparativo:

Viendo que a lo que se debe tender es a realizar una carga variable a la salida del generador para poder proceder a la medida de tensión y corriente se puede decir que la primera de las opciones es quizá la más sensata puesto que usa directamente el componente físico que consigue el efecto deseado, pero mecánicamente es imposible de realizar. En cambio el condensador de carga permite también recorrer la característica $i-v$ del panel más rápidamente pero sin llegar a los extremos, que en este caso tampoco son objeto del estudio de este proyecto. Los métodos basados en transistores tienen la desventaja que éstos deben ser capaces de evacuar una cantidad de calor demasiado grande y, por último, el uso de los convertidores SEPIC presenta un gran adelanto respecto a los anteriores y es que se pueden medir con mucha precisión los valores extremos de la característica, por lo tanto, con este método se consigue toda la característica; pero presenta una desventaja clara: su complicada aplicación y, en consecuencia, su elevado coste.

c. La elección:

Finalmente hemos escogido el método de simular una carga a la salida del generador fotovoltaico mediante un **condensador**, puesto que es una solución sencilla de aplicar y que nos permite obtener el resultado deseado, analizar la característica tensión-corriente para, posteriormente, encontrar el punto de máxima potencia, que como ya sabemos, no estará ni excesivamente cerca de cortocircuito ni del circuito abierto. Éste condensador (o conjunto de condensadores) deberán estar correctamente dimensionados para poder medir la característica.

5.1.4 Medida de tensión:**a. Las posibilidades:**

La posibilidad contemplada para la medida de tensión es la misma que usa un voltímetro para medir. Otras posibilidades han sido descartadas por demasiado complicadas o inoportunas para la medida del rango de tensiones entre los 0 y los 400 V de corriente continua.

a) Resistencia infinita:

Con la colocación de una **resistencia infinita** entre el punto a medir y masa se puede tomar la medida de tensión necesaria con absoluta precisión puesto que se garantiza que la impedancia del circuito no variará substancialmente. A partir de aquí, la medida será tomada por un canal del convertidor A/D y convertida a digital.

5.1.5. Medida de corriente:**a. Las posibilidades:**

Las posibilidades para la medida de la corriente son las siguientes:

a) Transformador de intensidad:

El transformador de intensidad está formado por un primario con pocas espiras y un secundario con más espiras. La corriente que pasa por el primario es inducida por inducción electromagnética al secundario. La relación entre el primario y secundario es la siguiente:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow N_2 \cdot I_2 = N_1 \cdot I_1$$

Ecuación 6. Relación entre el primario y el secundario de un transformador de intensidad.

I_1 es la corriente que pasa por el circuito a calcular. N_1 y N_2 es el número de espiras del primario y secundario respectivamente. I_2 es la corriente que pasa por el secundario. I_2 es conocida ya que el secundario está conectado a una carga conocida. Solo hay que medir la caída de tensión de la carga y obtendremos I_2 . Su resistencia debe ser pequeña. Después con la relación entre primario y secundario se obtiene I_1 .

El transformador de intensidad solo es válido para corriente alterna. Al tener aislamiento galvánico no hay caída de tensión. No hace falta abrir el circuito para medir la corriente.

El secundario debe estar siempre cortocircuitado porque sino aumentaría considerablemente la tensión entre bornes del secundario que provocaría un calentamiento en el material del que está constituido el transformador.

b) Pinza amperimétrica:

La pinza amperimétrica cuando mide corriente alterna se comporta como un transformador de intensidad. Pero cuando mide corriente continua usa el sensor hall.

El sensor hall es un semiconductor que genera una tensión proporcional al producto del campo magnético y a la corriente a medir.

El sensor se coloca en el entrehierro del toroide de chapa. Al pasar una corriente por el toroide se induce un campo magnético que pasa por la pastilla de semiconductor del sensor hall. Entonces es cuando el sensor hall genera la tensión proporcional a la corriente.

Al tener aislamiento galvánico no tiene caídas de tensión. No altera el circuito, es decir, no hace falta abrir el circuito para colocar la pinza. Sirve para corrientes altas.



Figura 17. Pinza amperimétrica.

c) Resistencia Shunt:

Para medir la corriente se coloca la resistencia Shunt en serie con la carga que da una caída de tensión. Al ser una resistencia conocida se conoce la corriente que pasa. El valor de la resistencia ha de ser el mínimo posible para minimizar la disipación de potencia. Lo cual nos lleva a una amplificación de la salida. Las medidas pueden ser tanto en alterna como en continua.

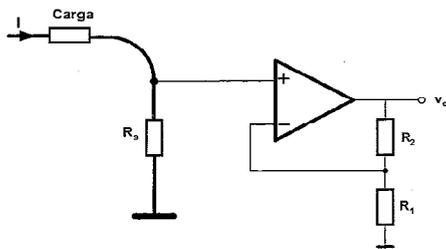


Figura 18. Configuración básica para la medida de corriente por Shunt.

No hay aislamiento galvánico. Altera el circuito ya que hay que cortar para colocar la resistencia Shunt, al pasar esto: cambia las características del circuito.

b. Estudio comparativo:

Se puede considerar que las dos primeras opciones son demasiado complicadas y costosas para el proyecto y puesto que se deben medir unos 5 amperios y con una resistencia Shunt debería haber suficiente. Aún así la resistencia Shunt presenta como principal inconveniente el hecho de que altera el circuito donde se coloca.

c. La elección:

Finalmente hemos escogido la medida de corriente por medio de una **resistencia Shunt**, puesto que sus ventajas para nuestro diseño son las óptimas y permite, sin alterar mucho el circuito, una medida correcta de la corriente que circula en el momento determinado. Esta resistencia será del menor valor posible (centésimas de Ohm).

b. Estudio comparativo:

En este diseño cuenta mucho la rapidez, pero también el hecho de que las dos medidas (tensión y corriente) sean tomadas en el mismo instante de tiempo; es decir, que correspondan a una pareja tensión, corriente verdadera de la curva característica. Es por ello que la solución con dos convertidores es la mejor para captar la misma medida a la vez, pero no por la rapidez de efectuar muchas mediciones sucesivas, puesto que el protocolo de comunicación con el microcontrolador entorpece el proceso. Si se usa un convertidor integrado en el microcontrolador este problema se soluciona, pero no el de las medidas instantáneas. Para solucionar la segunda cuestión, cada uno de los canales del multiplexor que da entrada al convertidor debería llevar un Sample & Hold para retener el valor en un instante de tiempo determinado en todas las entradas del convertidor y que, así, los valores convertidos correspondan a un mismo instante.

c. La elección:

Hemos optado por el **convertidor integrado dentro del microcontrolador**, puesto que nos permite mayor velocidad en la conversión. La solución al hecho de que se midan a la vez tensión e intensidad, será situar un Sample & Hold en las dos entradas que usemos del convertidor. Los microcontroladores PIC disponen, en su mayoría, de un conversor A/D de 10 bits de resolución y un mínimo de 5 canales de entrada. La resolución que tiene cada bit procedente de la conversión, tiene un valor que es función de la tensión de referencia, de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$\text{Resolución} = \left(\frac{V_{ref+} - V_{ref-}}{1024} \right) = \frac{V_{ref}}{1024}$$

Ecuación 7. Resolución de un convertidor integrado en PIC.

5.2.2. Microcontrolador:

Un microcontrolador es un pequeño computador construido sobre el chip de silicio que hay dentro de un circuito integrado. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada. El microcontrolador se le considera un computador dedicado, pues en su memoria reside un único programa destinado a controlar una aplicación concreta. Fundamentalmente existen 5 grandes campos de aplicación: comunicaciones, gran consumo, automoción, informática e industria; aunque aparecen muchos otros de nuevos.

El interior del microcontrolador se organiza en tres grandes bloques: la unidad de proceso (procesador, memoria de programa, memoria de datos y líneas de E/S), periféricos complementarios (temporizadores, conversores A/D, comparadores analógicos, puertos de comunicación y otros) y los recursos auxiliares (circuito de reloj, modos de bajo consumo, perro guardián, reset al conectar la alimentación y otros).

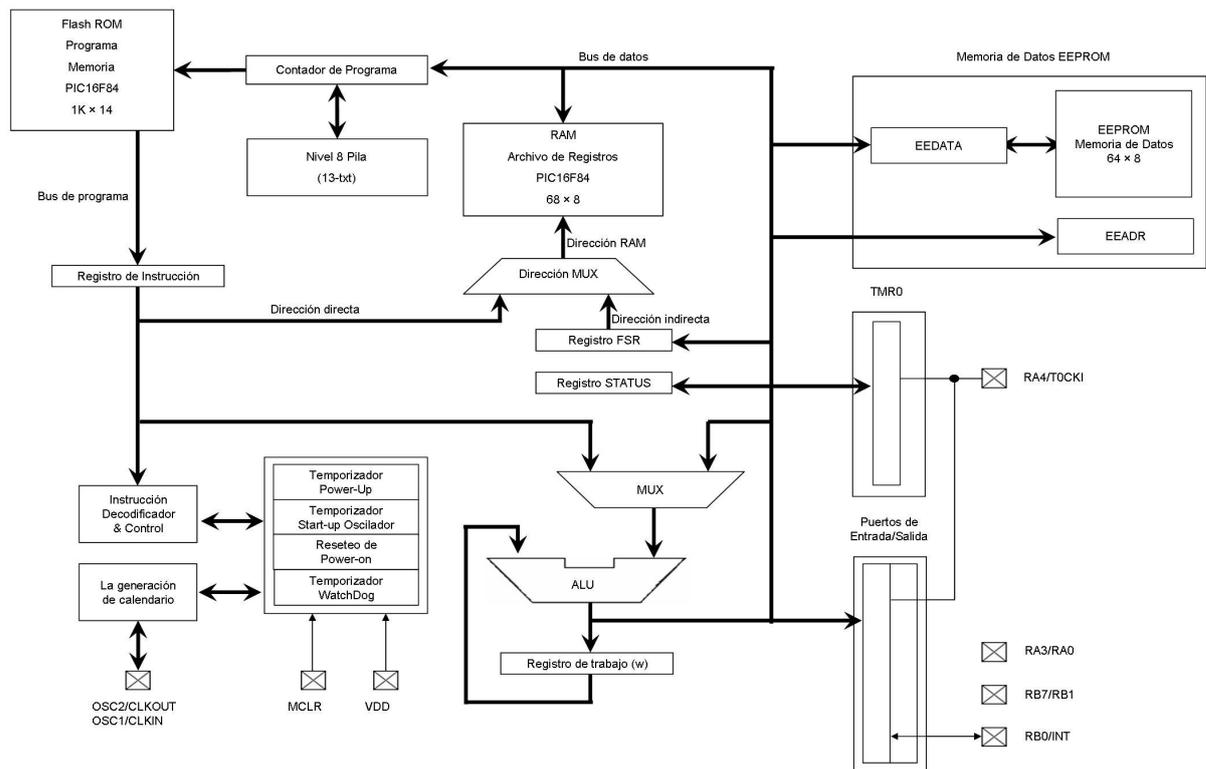


Figura 20. Diagrama de bloques de un microcontrolador.

Dentro de todos los fabricantes de microcontroladores, este proyecto, se desarrollará mediante uno de la marca Microchip, los conocidos PIC. Las razones son varias: sencillez de manejo, gran información técnica, precio ajustado, gran disponibilidad, instrucciones comprensibles y poco numerosas, buena relación consumo-velocidad, herramientas de desarrollo abundantes, compatibilidades elevadas y variedad de modelos.

Las características más relevantes de los microcontroladores PIC son:

✓ **Arquitectura Harvard:**

El empleo de la arquitectura Harvard que permite a la CPU acceder simultáneamente a las dos memorias, la memoria de programa o instrucciones y la memoria de datos.

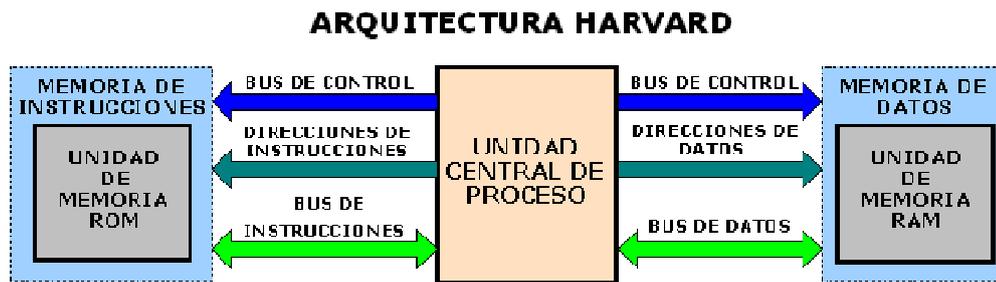


Figura 21. Estructura de la arquitectura Harvard.

Existen varias versiones de memoria de instrucciones para los PIC:

- **Versión Flash.** Utiliza una memoria EEPROM tipo Flash, que puede grabarse y borrarse las veces necesarias.
- **Versión OTP.** ("One Time Programmable") "Programable una sola vez". Sólo se puede grabar una vez por el usuario sin la posibilidad de borrar lo que se graba. Resulta mucho más económica en la implementación de prototipos y pequeñas series.
- **Versión QTP.** Es el propio fabricante el que se encarga de grabar el código en todos los chips que configuran pedidos medianos y grandes.
- **Versión SQTP.** El fabricante solo graba unas pocas posiciones de código para labores de identificación, número de serie, palabra clave, checksum, etc.

✓ **Utilizan procesador RISC (Reduced Instruction Set Computer):**

Las CPUs se clasifican por el tipo de instrucciones:

- **CISC:** (Complex Instruction Set Computer) Computadores de juego de instrucciones complejo, que disponen de un repertorio de instrucciones elevado (80, 100 o más), algunas de ellas muy sofisticadas y potentes, pero que como contrapartida requieren muchos ciclos de máquina para ejecutar las instrucciones complejas.
- **RISC:** (Reduced Instruction Set Computer) Computadores de juego de instrucciones reducido, en los que el repertorio de instrucciones es muy reducido, las instrucciones son muy simples y suelen ejecutarse en un ciclo máquina. Además los RISC deben tener una estructura pipeline y ejecutar todas las instrucciones a la misma velocidad.
- **SISC:** (Specific Instruction Set Computer) Computadores de juego de instrucciones específicos. En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el

juego de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", es decir, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista.

✓ **Poseen unos mismos recursos mínimos:**

- **Sistema POR (POWER ON RESET):** Todos los PIC tienen la facultad de generar una autoreinicialización o autoreset al conectarles la alimentación.
- **Perro guardián (Watchdog):** Existe un temporizador que produce un reset automáticamente si no es recargado antes de que pase un tiempo prefijado. Así se evita que el sistema se quede "colgado" puesto que dada esa situación el programa no recargaría dicho temporizador y se generaría un reset.
- **Modo de reposo (bajo consumo o SLEEP):** Ejecutando una instrucción (SLEEP), el CPU y el oscilador principal se detienen y se reduce notablemente el consumo.
- **Líneas de E/S de alta corriente:** Las líneas de E/S de los PIC pueden proporcionar o absorber una corriente de salida comprendida entre 20 y 25 (mA), capaz de excitar directamente ciertos periféricos.
- **Código de protección:** Cuando se procede a realizar la grabación del programa, puede protegerse para evitar su lectura. También disponen de posiciones reservadas para registrar números de serie, códigos de identificación, prueba, etc.

✓ **Modelos de arquitectura cerrada y de arquitectura abierta:**

- Microcontroladores de arquitectura cerrada.

Cada modelo se construye con un determinado CPU, cierta capacidad de memoria de datos, cierto tipo y capacidad de memoria de instrucciones, un número de E/S y un conjunto de recursos auxiliares muy concreto. El modelo no admite variaciones ni ampliaciones.

La aplicación a la que se destina debe encontrar en su estructura todo lo que precisa y, en caso contrario, hay que desecharlo. Microchip ha elegido principalmente este modelo de arquitectura.

- Microcontroladores de arquitectura abierta.

Estos microcontroladores se caracterizan porque, además de disponer de una estructura interna determinada, pueden emplear sus líneas de E/S para sacar al exterior los buses de datos, direcciones y control, con lo que se posibilita la ampliación de la memoria y las E/S con circuitos integrados externos. Microchip dispone de modelos PIC con arquitectura abierta, sin embargo, esta alternativa se escapa de la idea de un

microcontrolador incrustado y se asemeja a la solución que emplean los clásicos microcontroladores.

✓ **Amplio margen de alimentación y corrientes de salida elevadas.**

La tensión típica de los PIC es de 5 (V), si bien según que modelos se pueden alimentar con tensiones de 2 a 6,25 (V), lo cual posibilita el funcionamiento mediante pilas corrientes, teniendo en cuenta su bajo consumo (menos de 2 (mA) a 5 (V) y 4 (MHz)).

Las líneas de E/S de los PIC pueden proporcionar o absorber una corriente de salida comprendida entre 20 y 25 (mA), capaz de excitar directamente ciertos periféricos.

Las familias de PIC son numerosas, a continuación se presenta un cuadro resumen de cómo se organizan las familias de PIC para tener una idea global:

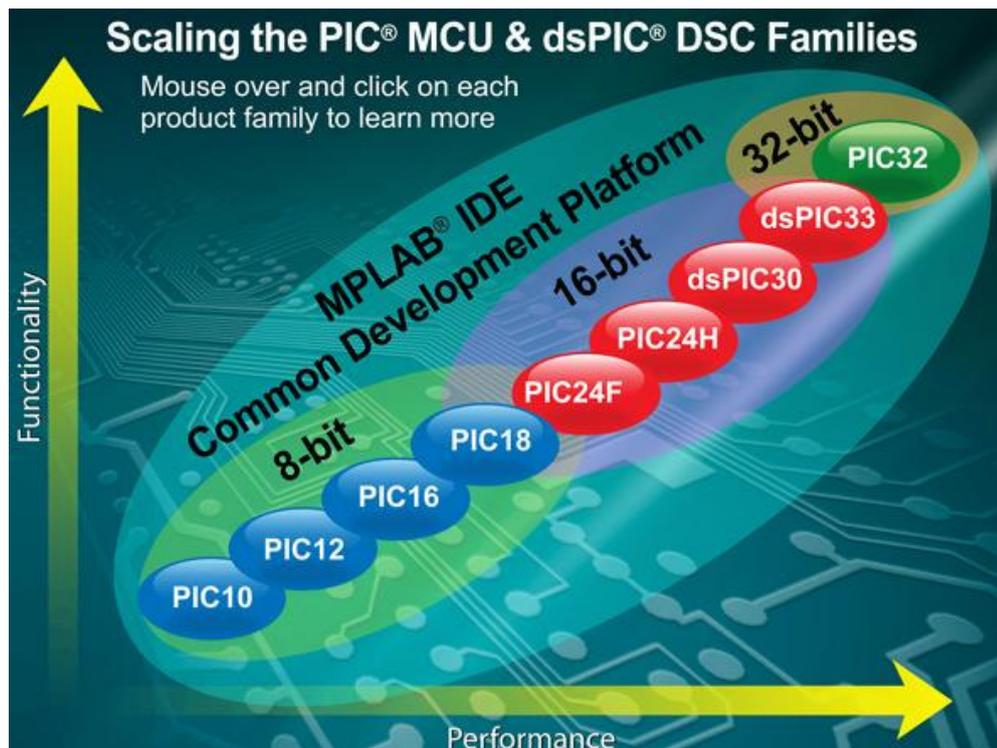


Figura 22. Familias de los microcontroladores PIC.

Asimismo, cada familia se divide, normalmente, en tres gamas: baja, media y alta; que responden a unas características determinadas.

a. Las posibilidades y estudio comparativo:

Se ha estudiado la posibilidad de realizar un diseño con microcontroladores PIC de 8 bits y así se ha estimado dado la simplicidad en el manejo y la complejidad del diseño a realizar. La gama básica de esta familia se ha descartado, quedando, pues, las gamas media y alta. Todas ellas, con la memoria de programa del tipo Flash.

Se han mirado varios de los microprocesadores de gama media (PIC16Fxxx), entre ellos, el PIC16F886; que respondía a nuestras necesidades; aunque el principal problema que presenta la gama media, es la reducida memoria RAM interna (tan sólo, en este modelo de: 368 bytes).

Nos interesa mayor memoria RAM para poder almacenar los datos obtenidos y procesados de todos los puntos de la curva; por esta razón fundamentalmente nos hemos referido a la gama mejorada (PIC18Fxxxx). Esta gama ha sido diseñada con más memoria en general, por lo tanto, mayor RAM. También incorpora un convertor A/D tal y cómo nos interesa para nuestro diseño.

Finalmente, para nuestra elección final hemos buscado un PIC que tuviera encapsulado DIP para poder realizar el prototipo con toda comodidad: PIC18F452 y PIC18F4610.

b. La elección:

Teniendo en cuenta todo lo anterior, nos hemos decidido por un modelo de PIC de gama alta que cuenta con mayor memoria RAM y es incluso más barato que algunos de los de gama media. El **PIC18F4610** es un microcontrolador rápido, con convertidor A/D integrado, barato, que se fabrica en encapsulado DIP y con tecnología nanoWatt; por lo tanto creemos que es la mejor elección para nuestro proyecto.

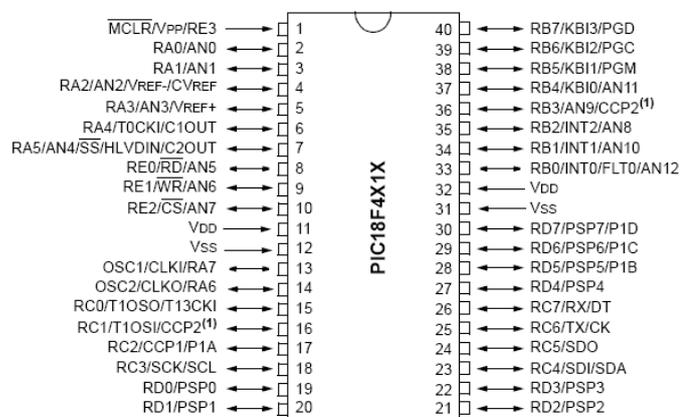


Figura 23. Patillaje del PIC18F4610 en encapsulación DIP.

5.2.3. Interface con el usuario:

Para la comunicación con el usuario del equipo se prevé una interface compuesta por unos comandos de entrada y unos de salida, fundamentalmente: la visualización de los datos.

5.2.3.1. Selectores y botones:

El equipo dispondrá de varios **conmutadores** para seleccionar, entre otras cosas: el modo de operación (manual o automático), el tiempo en que se realiza cada muestreo automático, etc.

Además de incorporar un **interruptor** de encendido y apagado de todo el equipo y, evidentemente, un **botón** para el inicio del análisis, otro para el volcado de datos al PC, etc.

5.2.3.2. Visualización de datos:

Las pantallas alfanuméricas de cristal líquido denominadas, abreviadamente, LCD, constituyen uno de los visualizadores de mensajes más económicos, prácticos y eficaces. Las controladoras de LCD son tarjetas diseñadas para gobernar la presentación de mensajes; éstas no son visibles al usuario. Las controladoras, por lo general, esclavas, se conectan mediante dos líneas con cualquier sistema maestro (microcontrolador) capaz de comunicarse en serie vía RS232.



Figura 24. Visualizador LCD.

Se dispondrá de un **visualizador LCD de dos líneas** para mostrar los resultados del proceso; donde se expondrán los datos de tensión, corriente y potencia del punto de máxima potencia calculado.

Asimismo se dispondrán una serie de **LEDs** para distintas indicaciones del equipo.

5.2.4. Comunicación con un PC:

Todos los microcontroladores, hoy en día, incorporan módulos de comunicaciones, de entre los que destaca el RS232, aunque la comunicación mediante USB toma terreno. Estos módulos de comunicación serán utilizados para que nuestro microcontrolador envíe los diferentes valores de las medidas al ordenador en el momento en que se determine.

a. Las posibilidades:

✓ Sistema de comunicación RS232

El sistema de comunicación RS232 es un estándar que utiliza un conector de 25 pins, DB-25, o de 9 pins, DB-9. Estos pins tienen varias funciones específicas como transmitir los datos, recibirlos, controlar el establecimiento de la comunicación, el flujo o el cierre de ésta. Los pines que utilizaremos serán el pin RxD (recepción de datos), el TxD (transmisión de datos) y la masa de la señal.

Número de PIN		Señal	Descripción	E/s
DB-25	DB-9			
1	1	-	Masa chasis	-
2	3	TxD	Transmit Data	S
3	2	RxD	Receive Data	E
4	7	RTS	Request To Send	S
5	8	CTS	Clear To Send	E
6	6	DSR	Data Set Ready	E
7	5	SG	Signal Ground	-
8	1	CD/DCD	(Data) Carrier Detect	E
15	-	TxC(*)	Transmit Clock	S
17	-	RxC(*)	Receive Clock	E
20	4	DTR	Data Terminal Ready	S
22	9	RI	Ring Indicator	E
24	-	RTxC(*)	Transmit/Receive Clock	S

* = Normalmente no conectados en el DB-25

Tabla 1. Tabla de terminales y su función en RS232.

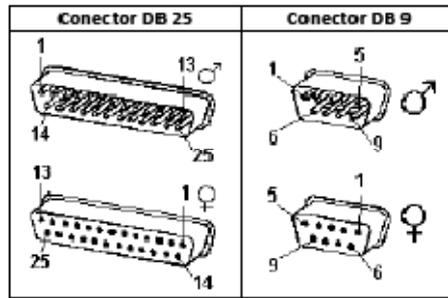


Figura 25. Esquema del conexionado del conector DB-25 y DB-9.

El protocolo RS232 trabaja con lógica negativa, es decir, los valores “0” son tensiones comprendidas entre 3 y 15 V y los “1” son tensiones entre -3 y -15 V. Por ello para interconectar el microcontrolador al ordenador tendremos que utilizar un adaptador de niveles de tensión. El adaptador utilizado es el MAX232, que pasa de tensiones TTL a tensiones RS-232.

La comunicación en serial se realiza byte a byte y tiene unos formatos estándares con la siguiente estructura:

- **Bit de inicio (*Start*):** Es un paso de un “1” a “0”, es decir, de -12V a 12V. Este bit siempre irá delante de la información a transmitir.
- **Bits de datos (*Datas*):** Los bits de datos son enviados después del bit de *Start*. El bit de menos peso LSB (*Least Significant Bit*) es transmitido primero y el de mayor peso MSB (*Most Significant Bit*) el último.
- **Bits de paridad (*Parity*):** Este bit sirve para descubrir errores en la transmisión. Puede ser paridad par o impar. Si es par este último bit hace que el número de “1” totales sea par; si es impar hace que el número total de “1” sea impar.
- **Bit de parada (*Stop*):** La línea queda a “1”, a -12V después del último bit enviado. Indica el fin de la transmisión de aquel byte y según el protocolo establecido puede tener una duración de 1, 1.5 o 2 bits.

✓ **Sistema de comunicación USB:**

El Bus Serie Universal fue creado en los años 90 por una asociación de empresas con la idea de ser un bus estándar en las conexiones a ordenador; debía ser independiente de la plataforma hardware empleada y, entre otras funciones, debía mejorar las técnicas *plug-and-play*, es decir, permitir a los dispositivos conectarse y desconectarse sin necesidad

de reiniciación, configurándose automáticamente al ser conectados; además se le dotó de transmisión de energía eléctrica para los dispositivos conectados.

USB es un bus punto a punto, con inicio en el *HOST* (o anfitrión USB) y destino en un dispositivo USB o en un *HUB* (que permite la ampliación del número de dispositivos USB conectados); sólo puede existir un único *HOST* en la arquitectura USB. *HOST* se define como un dispositivo maestro que inicializa la comunicación y *HUB* es el dispositivo que contiene uno o más puertos o conexiones hacia otros dispositivos USB; el *HUB* puede tener 4, 8 o hasta 16 puertos. El protocolo de comunicación se basa en el paso de testigo (*token*), donde el *HOST* proporciona el testigo al dispositivo seleccionado y éste le devuelve el testigo en respuesta.

Se puede clasificar según su velocidad de transferencia de datos (desde kilobits hasta megabits):

- **Baja velocidad (USB 1.0):** hasta 1.5 Mbps (192 KB/s) utilizado para dispositivos de interfaz humana (HID), como ratones, teclados, etc.
- **Velocidad completa (USB 1.1):** hasta 12 Mbps (1.5 KB/s).
- **Alta velocidad (USB 2.0):** hasta 480 Mbps (60 KB/s) para conexiones a Internet, etc.

Este bus tiene una estructura de estrella jerarquizada, se pueden ir conectado dispositivos en cadena, pudiéndose conectar hasta 127 dispositivos. Permite un máximo de 7 niveles de jerarquía, Cada dispositivo físico puede tener más de un dispositivo lógico (típicos teclados más ratón).

Físicamente, los datos del USB se transmiten por un par trenzado (D+ y D-) además de la masa y alimentación (+5 V), lo que permite la alimentación remota por parte del dispositivo hasta unos 100 mA. Los conectores pueden ser de dos tipos: A y B, con una versión especial llamada mini-B. Este bus admite cableados de hasta 5 metros. La codificación de los datos se realiza mediante la técnica NRZI (*Non-return-to-Zero-Inverted*).

Pin	Nombre	Color del cable	Descripción
1	VCC	Rojo	+5v
2	D-	Blanco	Data -
3	D+	Verde	Data +
4	GND	Negro	Tierra

Tabla 2. *Tabla de pines y su función en USB.*

b. Estudio comparativo:

Ambas posibilidades son factibles para nuestro diseño; ambas se tienen en consideración. Fundamentalmente la diferencia es la velocidad de transmisión, que en el USB es mayor; pero esto no es un factor crítico en nuestro diseño.

c. La elección:

Nos decantamos hacia la comunicación con el PC vía **USB** por su modernidad y su sencillez de conexión a todos los ordenadores actuales. Aún así no descartamos el RS232 ya que es más fiable que el USB.



Figura 26. *Conector USB.*

6. Software:

El equipo requerirá de un software en el microcontrolador, éste se describe a grandes rasgos en los siguientes apartados.

6.1. Especificaciones básicas del programa:

El programa que se escribirá para esta aplicación estará realizado en C. El programa deberá ocupar un máximo de la memoria del PIC escogido destinada a memoria de programa. Además deberá ser capaz de controlar los procesos de obtención, almacenamiento y tratamiento de los datos; así como, de la comunicación con el usuario y con el PC.

Todo el desarrollo del programa estará acompañado con una completa serie de simulaciones para poder concretar el correcto funcionamiento del programa.

6.2. Descripción general del programa:

Para la toma de los datos el programa deberá controlar el momento en que se inicia el proceso de obtención de los mismos. Deberá desconectar el inversor fotovoltaico según haya indicado el usuario. Una vez desconectado, automáticamente, a medida que se carga el condensador, el programa debe ser capaz de gestionar el convertidor A/D y la grabación en memoria para que cada par de coordenadas (I y V) quede guardado en un lugar de la memoria del PIC. Una vez tomados todos los puntos, se deberá conectar de nuevo el inversor para evitar que se pare y empezar a realizar el cálculo del punto de máxima potencia mediante la multiplicación de ambos valores. Aquel valor de potencia más alto corresponderá al máximo de potencia y serán esos los datos de tensión, corriente y potencia, a visualizar en la pantalla LCD. Además se permitirá un volcado de todos los datos a un PC para su uso posterior.

6.3. Diagrama de flujo:

A continuación se presenta de forma esquemática y a grandes rasgos lo que debe realizar el programa.

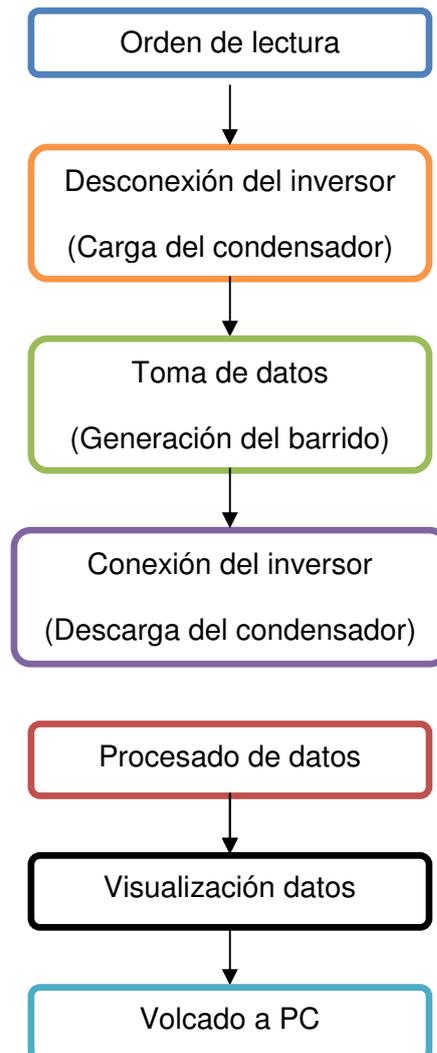


Figura 27. Diagrama básico del programa.

7. Normativa:

Las normativas que afectan al presente proyecto son las siguientes directivas europeas:

- Directiva **2001/77/CE**, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.
- Directiva **2005/32/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de julio de 2005, por la que se instaure un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.
- Directiva **2002/95/CE**, esta directiva establece las restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- Directiva **2002/96/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de enero de 2003, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
- Directiva **2006/32/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

Éstas derivan en Reales Decretos aplicables a nivel español y normativas autonómicas, incluso en ordenanzas municipales como es el caso de la ciudad de Barcelona.

8. Estudio temporal: Diagrama de Gantt:

A continuación se presenta el estudio temporal para la realización del proyecto con todas las acciones a desarrollar en los próximos meses. Se ha tomado el programa Microsoft Project para realizar el diagrama.

Se ha tomado la página siguiente para presentar todo el diagrama.

9. Estudio económico:

El presente estudio económico es una previsión de los conceptos que se pueden considerar a día de hoy para la realización del presente proyecto. Se incluyen los materiales previstos, fundamentalmente de aquellos más significativos y ya definidos; así como las horas técnicas de diseño y construcción del prototipo.

➤ Material:

	Precio estimado
Circuito conexión	19,14 €
Circuito barrido	59,46 €
Circuito medida	4,52 €
Circuitos digitales	5,78 €
Selectores	13,45 €
Visualización	12,02 €
Comunicaciones	15,38 €
Placas y soportes	25,60 €
Varios	34,00 €
Total	189,35 €

➤ Ingeniería:

	Precio/hora	Horas estimadas	Precio total
Diseño circuito	40 €	140 h	5.600 €
Diseño del software	40 €	100 h	4.000 €
Montaje circuito	20 €	20 h	400 €
Memoria	10 €	20 h	200 €
Total			10.200 €

➤ **Total proyecto:**

	Precio total
Material	189,35 €
Ingeniería	10.200 €
TOTAL	10.389,35 €

Este es el precio estimado de lo que costará realizar el diseño de todo el equipo y el primer prototipo; a partir de aquí, se subrayará, en la memoria final, una manera de rentabilizar la inversión realizada en este proyecto con una propuesta de unidades a fabricar y el precio propuesto de lanzamiento al mercado.

10. Bibliografía y enlaces:

LIBROS:

Para la parte general:

- **“SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones solares fotovoltaicas.”** Autor: Alonso Abella, Miguel. Editorial: S.A.P.T PUBLICACIONES TÉCNICAS, S.L. Segunda edición, año 2005, Madrid.
- **“ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”** Autor: Castañer Muñoz, Luis. Editorial Edicions UPC. Primera edición, primera reimpresión, año 1994, Barcelona.
- **“ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”** Autores; Méndez Muñiz, Javier María; Cuervo García, Rafael y Bureau Veritas Formación. Editorial: Fundación Confemetal. Cuarta edición, año 2009, Madrid.
- **“PHOTOVOLTAICS. Design and installation manual.”** Autores: Solar Energy International. Editorial: New Society Publishers. Edición revisada y actualizada, año 2007, Canadá.
- **“GUIA DEL INSTALADOR DE ENERGÍAS RENOVABLES”** Autor: Perales Benito, Tomás. Editorial: Creaciones Copyright. Tercera edición, año 2009, Madrid.
- **“ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”** Autor: Tobajas Vázquez, M. Carlos. Editorial: Cano Pina, S.L. – Ediciones Ceysa. Segunda edición, año 2005, Madrid.
- **“ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. Monografías técnicas de energías renovables.”** Autores: Castro Gil, M.; Carpio Ibáñez, J.; Guirado Torres, R.; Colmenar Santos, A. y Dávila Gómez, L. Editorial: Progensa. Segunda edición, año 2004, Sevilla

Para la parte analógica:

- **“INSTRUMENTOS ELECTRÓNICOS BÁSICOS”** Autor: Pallàs Areny, Ramon. Editorial: Marcombo. Primera edición, año 2006, Barcelona.
- **“INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA”** Autores: Pérez García, Miguel Ángel; Álvarez Antón, Juan Carlos; Campo Rodríguez, Juan Carlos; Ferrero Martín, Francisco Javier y Grillo Ortega, Gustavo. Editorial: Thomson. Primera edición, año 2004, Madrid.

Para la parte digital:

- **“PROCESADO DIGITAL DE SEÑALES. Fundamentos para comunicaciones y control – I.”** Autor: Bertran Albertí, Eduard. Editorial: Edicions UPC. Primera edición, año 2008, Barcelona.
- **“DISSENY DE SISTEMES DIGITALS AMB MICROPROCESSADORS”** Autores: Cabestany, Joan; Madrenas, Jordi; Masana, Francesc; Salazar, Jordi y Pol, Clemente. Editorial: Edicions UPC. Primera edición, año 1996, Barcelona.
- **“MICROCONTROLADORES PIC. La clave del diseño.”** Autores: Martín, Eugenio; Angulo, José María y Angulo, Ignacio. Editorial: Thomson. Primera edición, año 2003, Madrid.
- **“MICROCONTROLADORES PIC. Diseño práctico de aplicaciones. Primera parte: PIC12F508 y PIC16F84A.”** Autores: Angulo Usategui, José María; Angulo Martínez, Ignacio y Etxebarría Ruiz, Aritza. Editorial: McGraw – Hill. Cuarta edición, año 2007, Madrid.
- **“MICROCONTROLADORES PIC. Diseño práctico de aplicaciones. Segunda parte: PIC16F87x”** Autores: Angulo Usategui, José María; Angulo Martínez, Ignacio y Romero Yesa, Susana. Editorial: McGraw – Hill. Segunda edición, año 2006, Madrid.
- **“COMPILADOR C CCS Y SIMULADOR PROTEUS PARA MICROCONTROLADORES PIC”** Autor: García Breijo, Eduardo. Editorial: Marcombo. Segunda edición, año 2009, Barcelona.

ARTÍCULOS:

- **“Measuring the I-V Curve of PV Generators”** IEEE Industrial Electronics Magazine. Septiembre 2009. Autores: Durán Aranda, Elanio; Gómez Galán, Juan Antonio; Sidrach de Cardona, Mariano y Andújar Márquez, José Manuel.
- **“A new algorithm for rapid tracking of approximate maximum power point in photovoltaic systems”** IEEE Power Electronics Letters. Marzo 2004. Autores: Jain, Sachin y Agarwal, Viviek.
- **“Real-Time identification of optimal operating points in photovoltaic power systems”** IEEE Transactions on Industrial Electronics. Agosto 2006. Autores: Xiao, Weidong; Lind, Magnus G.J.; Dunford, William G. y Capel, Antoine.
- **“Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter”** IEEE Transactions on Industrial Electronics. Diciembre 1997. Autores: Enslin, Johan; Wolf, Mario; Snyman, Daniël y Swiegers, Wernher.

- **“Development of a microcontroller-based photovoltaic maximum power point tracking control system”** IEEE Transactions on Industrial Electronics. Enero 2001. Autores: Koutroulis, Eftichios; Kalaitzakis, Kostas y Voulgaris, Nicholas.

APUNTES:

Los apuntes y transparencias de las siguientes asignaturas de la carrera: Electrónica Digital, Electrónica Analógica 1, Informática Industrial, Control Electrónico de Procesos Industriales, Instrumentación Industrial, Gerencia Energética Sostenible y Oficina Técnica.

ENLACES:

Para la parte general:

- http://www.solarpedia.es/index.php/C%C3%A9lula_solar
- http://europa.eu/legislation_summaries/index_es.htm
- <http://es.farnell.com/>

Para la parte analógica:

- <http://es.wikipedia.org>
- http://www.kemisa.es/circuito_pinza_amperimetrica.php
- <http://perso.wanadoo.es/frs88/tpn/desc/hall.htm>
- <http://www.bpm.uasd.edu.do/Members/pvaldez05/conversion-de-energia-iem-316/conversioncap8.doc/download>
- <http://www.mailxmail.com/curso-desperfectos-alimentacion-pc/como-funciona-fuente-alimentacion>
- <http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>

Para la parte digital:

- <http://es.wikipedia.org>
- <http://www.microchip.com/>

4. PROGRAMA EN LENGUAJE C DEL MICROPROCESADOR PIC18F4620

Este es el programa en C implementado en el equipo de medida:

```
#include <18F4620.h>
#device adc=10

#FUSES NOWDT           //No Watch Dog Timer
#FUSES WDT128         //Watch Dog Timer uses 1:128 Postscale
#FUSES NOPROTECT      //Code not protected from reading
#FUSES IESO           //Internal External Switch Over mode enabled
#FUSES BROWNOUT       //Reset when brownout detected
#FUSES BORV21         //Brownout reset at 2.1V
#FUSES NOPUT          //No Power Up Timer
#FUSES NOCPD          //No EE protection
#FUSES STVREN         //Stack full/underflow will cause reset
#FUSES NODEBUG        //No Debug mode for ICD
#FUSES LVP            //Low Voltage Programming on B3(PIC16) or B5(PIC18)
#FUSES NOWRT         //Program memory not write protected
#FUSES NOWRTD        //Data EEPROM not write protected
#FUSES NOEBTR        //Memory not protected from table reads
#FUSES NOCPB         //No Boot Block code protection
#FUSES NOEBTRB       //Boot block not protected from table reads
#FUSES NOWRTC        //configuration not registers write protected
#FUSES NOWRTB        //Boot block not write protected
#FUSES FCMEN         //Fail-safe clock monitor enabled
#FUSES PBADEN        //PORTB pins are configured as analog input
#FUSES LPT1OSC       //Timer1 configured for low-power operation
#FUSES MCLR          //Master Clear pin enabled
#FUSES HS            //High Speed Oscilator

#use delay(clock=4000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)

#include <float.h>
#include <math.h>
#include <string.h>

#define LCD_ENABLE_PIN PIN_D0
#define LCD_RS_PIN PIN_D1
#define LCD_RW_PIN PIN_D2
#define LCD_TYPE 2
#include <lcd.c>
#use standard_io(B)
#use standard_io(C)
#use standard_io(E)

int16 btension[250],bcorriente[250];           //Declaración variables globales.
float bpotencia[250];
float tension,corriente,potencia;
float v_inversor,i_inversor,p_inversor;
int pmax,flag0,t;
int16 r;

void visualizar()
{
    output_low(PIN_B4);           //Apaga LED actual.
    lcd_init();                  //Inicializar LCD.
    delay_ms(10);
    printf(lcd_putc, "\\El punto maximo es:");
    printf(lcd_putc, "\\ Tension = %01.2fV", tension);           //Visualiza tensión.
    printf(lcd_putc, "\\nCorriente = %01.2fA", corriente);       //Visualiza corriente.
    printf(lcd_putc, "\\ Potencia = %01.2fW", potencia);         //Visualiza potencia.
    delay_ms(10);
}
```

```

int16 medidainicial(int16 tccp1)
{
    int16 q;
    float vccp1;
    set_adc_channel(0); //Habilitación canal 0.
    delay_us(2); //Tiempo de adquisición.
    q = read_adc(); //Lectura canal tensión.
    v_inversor = ((210.000* q) / 1024.000); //Cálculo valor real.
    set_adc_channel(1); //Habilitación canal 1.
    delay_us(2); //Tiempo de adquisición.
    r = read_adc(); //Lectura canal corriente.
    i_inversor = ((5.000* r) / 912.384); //Cálculo valor real.
    vccp1=8800/i_inversor; //Cálculo freq. muestreo.
    tccp1=floor(vccp1); //Truncado para valor entero.
    return(tccp1); //Retorna número CCP1.
}

#INT_CCP1 //Interrupción del comparador.
void medida()
{
    if(t<=249) //Mientras se completa la tabla.
    {
        set_timer1(0); //Reiniciar el Timer 1.
        set_adc_channel(0); //Habilitación canal 0.
        delay_us(2); //Tiempo adquisición.
        btension [t]= read_adc(); //Lectura canal 0.
        set_adc_channel(1); //Habilitación canal 1.
        delay_us(2); //Tiempo adquisición.
        bcorriente [t]= read_adc(); //Lectura canal 1.
        t++; //Incremento de la variable de tabla.
    }
    else //Al terminar de realizar 250 medidas:
    {
        setup_timer_1(T1_DISABLED); //Desconectar el Timer 1.
        output_low(PIN_C0); //Apagar el relé.
    }
}

void calcular() //Cálculo de la potencia máxima.
{
    int z; //Declaración variables locales.
    int b;
    pmax=0;

    for (z=0;z<250;z++) //Para cada pareja de valores:
    { //Realizar el cálculo de la potencia.
        bpotencia[z] =((5.000* bcorriente[z]) / 912.384)*((210.000* btension[z]) / 1024.000);
    }
    for (b=1;b<250;b++) //Buscar la máxima potencia...
    { //... y conocer su posición.
        if (bpotencia[pmax]<=bpotencia[b])
            pmax=b;
    }
    corriente = (5.000* bcorriente[pmax] / 912.384); //Cálculo del valor real.
    tension = (210.000* btension[pmax] / 1024.000); //Cálculo del valor real.
    potencia = bpotencia[pmax]; //Valor máximo calculado.
}

#INT_EXT //Directiva de la interrupción EXT0.
void funcion_int_ext () //Rutina de la interrupción.
{
    delay_ms(100); //Retardo para evitar el rebote.
    output_high(PIN_B6); //Enciende el LED de medida.
    CCP_1=medidainicial(0); //Primera medida de la corriente.
    output_high(PIN_C0); //Enciende el relé.
    delay_us(10250); //Retardo de la conexión del relé.
    flag0=1; //Flag de inicio de ensayo activo.
    set_timer1(0); //Timer 1 a 0.
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1); //Activación Timer 1.
}

#INT_EXT1 //Directiva de la interrupción.
void transmision() //Rutina de la interrupción de transmisión.
{
    int z;

    output_high(PIN_B5); //Encender LED transmisión.
    for (z=0;z<250;z++) //Para cada pareja de valores, envía:

```

```

    {
        corriente = (5.000* bcorriente[z] / 912.384); //Valor a enviar.
        tension = (210.000* btension[z] / 1024.000); //Valor a enviar.
        potencia = bpotencia[z]; //Valor a enviar.
        printf("Medida n =%02u ", z); //Envia la posición.
        printf("Tension = %01.2fV ", tension); //Envia tensión.
        printf("Corriente = %01.2fA ", corriente); //Envia corriente.
        printf("Potencia = %01.2fW\r", potencia); //Envia potencia.
    } //Al acabar:
    output_low(PIN_B5); //Apagar LED transmisión.
}

#INT_EXT2 //Directiva de la interrupción.
void visualizar_inversor() //Rutina visualización valor actual.
{
    delay_ms(100); //Retardo para evitar el rebote.
    CCP_1=medidainicial(0); //Realiza medida actual.
    output_high(PIN_B4); //Encender LED medida actual.
    delay_ms(10);
    lcd_init(); //Inicilaizar LCD.
    printf(lcd_putc, "\\Valores actuales:"); //Escribir la linea.
    printf(lcd_putc, "\\ Tension = %01.2fV", v_inversor); //Escribir tensión.
    printf(lcd_putc, "\\nCorriente = %01.2fA", i_inversor); //Escribir corriente.
    p_inversor=v_inversor*i_inversor; //Potencia actual.
    printf(lcd_putc, "\\ Potencia = %01.2fW", p_inversor); //Escribir potencia.
    delay_ms(10);
}

void main() //Programa principal.
{
    //trise=0b00000111;
    //portb=0b10000000;
    //trise=0b00001001;
    //porte=0b00000000;

    port_b_pullups(TRUE); //Habilitación de las resistencias de Pull-up.
    setup_adc_ports(AN0_TO_AN1|VSS_VDD); //Canales 0 a 1 analógicos para A/D.
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32); //Clock del convertidor Tad=32·Tosc.
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL); //Configuración Timer 0.
    setup_ccp1(CCP_COMPARE_INT); //Configuración CCP1 como comparador.

    output_high(PIN_B7); //Encender LED ON-OFF.
    output_low(PIN_B6); //Apaga el resto de LEDS.
    output_low(PIN_B5);
    output_low(PIN_B4);
    output_low(PIN_B3);
    lcd_init(); //Inicializa LCD y las variables, timers y comparadores.
    t=0;
    flag0=0;
    set_timer1(0);
    CCP_1=1;
    printf(lcd_putc, "\\Caracterizacion Toni Zafra \ncurvas V/I y V/P Alba Martin");
    //Escribir en la pantalla mensaje de bienvenida.

    while (1) //Realizar siempre.
    {
        if (flag0==0) //Una vez terminado un ensayo o al inicio:
        {
            //Determinar cuál es la opción:
            if (input(PIN_E0)==0) //Opción manual.
            {
                output_low (PIN_B3); //Apaga LED AUTO.
                enable_interrupts(int_ext); //Habilita interrupcion del boton de transmisión.
                enable_interrupts(int_ext1); //Habilita la interrupción de transmisión.
                enable_interrupts(int_ext2); //Habilita la interrupción de valor actual.
                enable_interrupts(INT_CCP1); //Habilita interrupción CCP1.
                ext_int_edge(H_TO_L); //Por flanco de bajada.
                enable_interrupts(GLOBAL); //Habilita las interrupciones globales.
            }
            else //Opción automática.
            {
                output_high (PIN_B3); //Encender LED AUTO.
                delay_ms(5000); //5+5=10 segundos entre mediciones.
                if(input(PIN_E0)!=0) //Sólo si sigue en opción AUTO.
                {
                    //Realizar la medida.
                    output_high(PIN_B6); //Encender el LED de medida.
                    CCP_1=medidainicial(0); //Primera medida de la corriente.
                }
            }
        }
    }
}

```

```
    output_high(PIN_C0);           //Encender el relé.
    delay_us(10250);              //Retardo de la conexión del relé.
    set_timer1(0);               //Timer 1 a 0.
    disable_interrupts(int_ext);  //Inhabilita interrupción de medida manual
    enable_interrupts(int_ext1);  //Habilita la interrupción de transimisión.
    enable_interrupts(int_ext2);  //Habilita la interrupción de valor actual.
    enable_interrupts(INT_CCPI);  //Habillita interrupción CCP1.
    enable_interrupts(GLOBAL);    //Habilita las interrupciones globales.
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1); //Activa Timer 1.
    flag0=1;                     //Activa el flag de medida en curso.
}
}
else                             //Realizando el ensayo...
{
    if(t==250)                   //Si ha llegado a obtener los 250 valores:
    {
        calcular();              //Llamar a la rutina calcular.
        visualizar();            //Llamar a la rutina visualizar.
        flag0=0;                //Desactiva el flag de medida en curso.
        t=0;                    //Reinicio del puntero para la tabla.
        delay_ms(5000);          //Retraso para apagar el LED a total descarga.
        output_low(PIN_B6);      //Apaga el led de medida.
    }
}                                 //En caso de que no haya llegado a los 250 valores
}                                 //no se realiza ninguna acción.
}
```