

# ÍNDICE MEMORIA

<b>ÍNDICE MEMORIA.....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>4</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUM .....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 1: OBJETO DEL PROYECTO .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 2: MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 3: ESPECIFICACIONES BÁSICAS .....</b>	<b>9</b>
3.1. Descripción del problema.....	9
3.2. Especificaciones técnicas .....	9
3.3. Localización de la vivienda aislada .....	10
3.4. Estudio de potencia para la vivienda .....	11
<b>CAPÍTULO 4: SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ESCOGIDOS. 14</b>	
4.1. Sistema híbrido de producción de energía eléctrica (energía eólica y solar) 14	
4.2. Sistema solar térmico .....	16
<b>CAPÍTULO 5: DISEÑO DE LOS SISTEMAS ESCOGIDOS.....</b>	<b>18</b>
5.1. Sistema híbrido de producción de energía eléctrica (energía eólica y solar) 18	
5.2. Sistema solar térmico .....	24
5.2.1. Cálculo de la demanda energética del edificio.....	24
5.2.2. Elección de la fracción solar anual .....	26
5.2.3. Elección del modelo del sistema de calentamiento .....	27
<b>CAPÍTULO 6: ESTRUCTURA DEL INVERSOR MONOFÁSICO.....</b>	<b>35</b>
6.1. Control.....	36
6.1.1. Realimentación de la salida .....	36
6.2. Potencia.....	36
<b>CAPÍTULO 7: ALIMENTACIÓN DE LOS CIRCUITOS .....</b>	<b>37</b>
7.1. Alimentación 5, 15 y 24 voltios.....	38
<b>CAPÍTULO 8: CIRCUITO DE POTENCIA.....</b>	<b>39</b>
8.1. Puente completo .....	39

8.2. Drivers.....	43
8.3. Transformador .....	44
8.4. Esquema de circuito de potencia.....	44
<b>CAPÍTULO 9: CIRCUITO DE CONTROL .....</b>	<b>45</b>
9.1. Obtención de las señales de control mediante Psim y Excel .....	45
9.2. PIC.....	48
9.2.1. Funciones básicas del pic: .....	48
9.2.2. Pines del pic utilizados .....	49
9.2.3. Señalización por LCD .....	50
9.2.4. Realimentación de la salida .....	50
<b>CAPÍTULO 10: PROGRAMA.....</b>	<b>52</b>
10.1. Programa principal.....	52
10.2. Subrutina ADC .....	54
10.3. Subrutina LCD.....	55
10.4. Subrutina ma .....	58
<b>CAPÍTULO 11: SIMULACIONES .....</b>	<b>60</b>
11.1. Simulaciones en PSIM del circuito inversor .....	60
11.1.1. Simulaciones realizadas en PSIM .....	63
11.2. Simulaciones en Proteus del sistema de control .....	64
11.2.1. Simulación de la LCD .....	65
11.2.2. Simulación de las señales de control .....	66
11.2.3. Simulación de las entradas; convertidor analógico-digital e interruptor de paro de emergencia.....	66
<b>CAPÍTULO 12: PROTOTIPO .....</b>	<b>68</b>
12.1. Modificaciones en el circuito y en el programa .....	68
12.2. Capturas reales con el prototipo .....	69
<b>CAPÍTULO 13: COMUNICACIÓN .....</b>	<b>73</b>
13.1. Comunicación RS-232 .....	73
13.2. Interface de usuario .....	74
<b>CAPÍTULO 14: NORMATIVA .....</b>	<b>77</b>
<b>CAPÍTULO 15: PLANIFICACIÓN Y DIAGRAMA DE GANTT.....</b>	<b>80</b>
<b>CAPÍTULO 16: BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>82</b>
16.1. Libros y artículos .....	82
16.2. Enlaces de interés.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Foto satélite de localización de la masía (Fuente: Google maps).</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2. Mapa de localización de la masía (Fuente: Google maps).</b>	<b>11</b>
<b>Figura 3. Ejemplo de sistema híbrido, placas fotovoltaicas con generadores eólicos.</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4. Instalación solar térmica en una vivienda.</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5. Irradiación solar durante un periodo de un año</b>	<b>20</b>
<b>Figura 6. Irradiancia con horas de pico solar.</b>	<b>21</b>
<b>Figura 7. Velocidad media del viento de la zona estudiada.</b>	<b>23</b>
<b>Figura 8. Instalación solar térmica para agua caliente sanitaria.</b>	<b>24</b>
<b>Figura 9. Diagrama de bloques del sistema implementado</b>	<b>36</b>
<b>Figura 10. Diagrama de bloques del sistema implementado.</b>	<b>38</b>
<b>Figura 11. Diagrama de bloques del sistema implementado.</b>	<b>39</b>
<b>Figura 12. Ondulador puente completo.</b>	<b>40</b>
<b>Figura 13. Circuitos equivalentes en sus diferentes estados.</b>	<b>40</b>
<b>Figura 14. Circuito de potencia.</b>	<b>44</b>
<b>Figura 15. Imagen del simulador Psim</b>	<b>46</b>
<b>Figura 16. Imagen de las señales obtenidas con una frecuencia de 1000 Hz y una modulación en amplitud de 0.75</b>	<b>46</b>
<b>Figura 17. Imagen del pic con la nomenclatura de los pins.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 18. Imagen de la pantalla de cristal líquido</b>	<b>50</b>
<b>Figura 19. Esquema de realimentación de tensión y corriente.</b>	<b>51</b>
<b>Figura 20. Diagrama de flujo del programa principal</b>	<b>54</b>
<b>Figura 21. Diagrama de flujo de la subrutina del ADC.</b>	<b>55</b>
<b>Figura 22. Diagrama de flujo de la subrutina de la LCD</b>	<b>57</b>
<b>Figura 23. Diagrama de flujo de la subrutina de obtención del ma.</b>	<b>59</b>
<b>Figura 24. Imagen del circuito diseñado con Psim</b>	<b>61</b>
<b>Figura 25. Imagen del circuito simulado con Psim.</b>	<b>62</b>
<b>Figura 26. Gráfico de la señal de salida, con una modulación de 0.9 y una frecuencia de la triangular de 1000Hz</b>	<b>63</b>
<b>Figura 27. Gráfico de la componente de la frecuencia de la señal de salida</b>	<b>64</b>
<b>Figura 28. Circuito utilizado para la simulación digital en proteus</b>	<b>65</b>
<b>Figura 29. Ejemplo LCD en funcionamiento</b>	<b>66</b>

<b>Figura 30. Visualización de las señales de control en el osciloscopio de proteus .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 31. Aplicación de tensión en los convertidores .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 32. Simulador de paro de emergencia.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 33. Captura senoide de modulación 0,6.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 34. Captura senoide de modulación 0,85 más señal de control 1 .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 35. Captura senoide de modulación 0,85 más señal de control 2 .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 36. Captura de las dos señales de contro. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 37. Comunicación RS-232.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 38. Interface de usuario (Funcionamiento correcto).....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 39. Interface de usuario (Paro de emergencia). ....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Cálculo del consumo aproximado de la vivienda aislada. ....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 2. Irradiación solar diaria media (Fuente: Censosolar).....</b>	<b>19</b>
<b>Tabla 3. Medidas medias mensuales en m/s.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 4. Consumos unitarios en función del uso (Fuente:IDEA).....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 5. Consumo de la vivienda al día. ....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 6. Temperatura de agua fría en Tarragona. ....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 7. Cálculo de la demanda energética anual.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla 8. Cálculo de la energía solar mensual incidente. ....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 9. Cálculo del parámetro <math>D_1</math>.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 10. Temperatura media mensual del ambiente (Fuente:Censosolar).....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 11. Cálculo del parámetro <math>D_2</math>.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 12. Cálculo de la fracción solar mensual.....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 13. Cálculo de la producción energética mensual útil. ....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 14. Equivalencia de tensiones. ....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 15. Ejemplo de tabla de Excel, una vez se le han extraído los tiempos.....</b>	<b>47</b>

## **RESUMEN**

El proyecto tiene como finalidad el diseño de un inversor fotovoltaico para una vivienda unifamiliar aislada, en éste caso, una masía situada en la localidad "Les Piles" provincia de Tarragona. Previamente, se realiza un estudio energético con la finalidad de obtener los sistemas energéticos óptimos para las condiciones del lugar. Así como el dimensionado de potencia y cálculo de la instalación fotovoltaica junto con los sistemas escogidos.

Finalmente, se diseña el inversor fotovoltaico óptimo para la instalación energética y la construcción de un prototipo a escala de dicho inversor para poder comprobar su correcto funcionamiento.

## **RESUM**

El projecte té com a finalitat el disseny d'un inversor fotovoltaic per un habitatge unifamiliar aïllat, en aquest cas, una masia situada a la localitat "Les Piles" província de Tarragona. Prèviament, es realitza un estudi energètic amb la finalitat d'obtenir els sistemes energètics òptims per a les condicions del lloc. Així com el dimensionat de potència i càlcul de la instal·lació fotovoltaica juntament amb els sistemes escollits.

Finalment, es dissenya l'inversor fotovoltaic òptim per a la instal·lació energètica i la construcció d'un prototip a escala d'aquest inversor per poder comprovar el seu correcte funcionament.

## **ABSTRACT**

The project is based in a designing photovoltaic inverter for a detached house, in this case, a farm house located in the locality "Les Piles", Tarragona. Firstly, is done an energy study to obtain the energetical systems more competitive for the place. It has been done the power design and the calculation of the photovoltaic with the other systems.

Finally, is done the design of the optimal photovoltaic inverter for the energetical installation and is done the construction of a photovoltaic inverter prototype to comprove its correct running.

# **CAPÍTULO 1: OBJETO DEL PROYECTO**

El objeto del presente informe es la realización, por parte de RENOVABLES S.L., de un estudio técnico-económico de aprovisionamiento de recursos básicos para una vivienda aislada situada a las afueras de la población "Les Piles", provincia de Tarragona (España).

Para la realización de este estudio de aprovisionamiento de energía para una vivienda aislada, se estudiarán los posibles sistemas existentes en el mercado teniendo en cuenta el aislamiento de la vivienda. Estos sistemas se centrarán en la utilización de energías renovables.

Se diseñarán los sistemas escogidos para la vivienda ofreciendo los productos óptimos, así como la integración de los mismos, en dicha vivienda aislada.

Se diseñará un inversor monofásico para el sistema principal de aprovisionamiento de energía eléctrica.

Por último, se valorará un presupuesto detallado al proyecto, incluyendo los productos escogidos para su instalación.

# **CAPÍTULO 2: MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto está motivado ante la ausencia de recursos como energía eléctrica o agua caliente sanitaria en las afueras de pueblos o ciudades, en éste caso la masía aislada.

Aprovechando las nuevas energías renovables que han surgido ante la creciente búsqueda de minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), queremos hacer uso de éstas para el aprovisionamiento de la vivienda aislada, poder proveer dicha vivienda de energía eléctrica y A.C.S., minimizando los posibles gastos de sistemas no renovables y contribuyendo a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y demás gases que están provocando el cambio climático de nuestro planeta.

Al realizar este proyecto, queremos concienciar sobre el problema de la contaminación y dar a conocer varias de las muchas soluciones no contaminantes basadas en energías renovables que no tienen porqué ser de coste muy elevado.

Por nuestra parte, el interés en éste proyecto es fruto del impacto que tienen las energías renovables en nuestro país y su potenciamiento por parte del gobierno. En ésta amplia gama, vemos un futuro prometedor lleno de avances tecnológicos, de tal manera que profundizar y seguir estudiando éste tipo de obtención de energías será muy beneficioso.

A modo de conclusión, decir que con éste proyecto no solo repasaremos y ampliaremos conocimientos sobre energías renovables, si no que podremos realizar un proyecto con base en todas las asignaturas estudiadas en la ingeniería.



# **CAPÍTULO 3:**

# **ESPECIFICACIONES**

# **BÁSICAS**

## **3.1. Descripción del problema**

El proyecto realizado, es la solución estudiada para los diferentes problemas comunes en una vivienda aislada. El estudio realizado se centrará en la comparativa de las diferentes soluciones para la falta de recursos de la vivienda aislada, así como el diseño del inversor monofásico escogido para dicha instalación energética.

En conceptos generales los problemas a solventar son:

- La vivienda aislada no tiene acceso a la red eléctrica general.
- La vivienda aislada no tiene acceso a la red de distribución de gas natural, gas ciudad o semejantes.
- Diseño de un inversor monofásico para los sistemas escogidos.

## **3.2. Especificaciones técnicas**

La vivienda aislada es una masía compuesta por tres habitaciones, cocina, dos baños y salón-comedor.

Especificaciones técnicas:

- Sistema de producción eléctrica adecuada a este tipo de vivienda.
- Sistema de producción de A.C.S adecuada a este tipo de vivienda.

- Diseño de sistemas mediante energías renovables.
- Autonomía energética de dos días.
- Diseño de inversor monofásico adecuado a la potencia establecida.

### 3.3. Localización de la vivienda aislada

Masía Can Huguet

Propietario: Juan José Ruiz Pérez

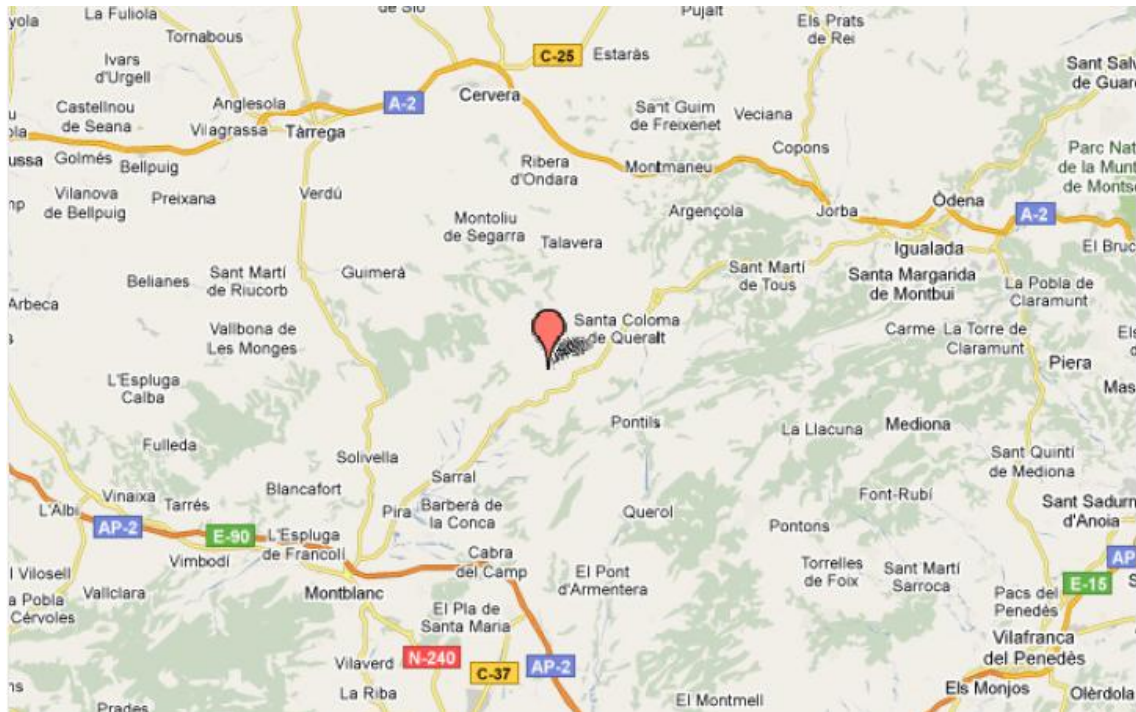
Localización: A las afueras de la población "Les Piles", en la provincia de Tarragona (España).

Coordenadas: latitud N= 41° 30' 21" Norte / longitud W=1° 8' 31" Este

Elevación: 693m



**Figura 1.** Foto satélite de localización de la masía (Fuente: Google maps).



**Figura 2.** Mapa de localización de la masía (Fuente: Google maps).

### 3.4. Estudio de potencia para la vivienda

Para poder dimensionar el consumo de la vivienda aislada se utiliza la tabla 1, donde a partir de los consumos de los aparatos o habitaciones, junto a sus horas de uso, se saca un valor aproximado de la energía consumida.

**Tabla 1.** Cálculo del consumo aproximado de la vivienda aislada.

Elemento	Unidades	Potencia (W)	Horas día (h)	Energía (W·h)
Luz cuarto estar	4	11	6	264
Luz dormitorios	3	11	2	66
Luz cocina	2	18	3	208
Frigorífico	1	-	24	300
Lavadora	1	350	1	350
Televisión	1	85	3	255
Horno eléctrico	1	1000	¼	250
Vitro Cerámica	1	1000	½	500
TOTAL				2093

(El consumo del frigorífico está proporcionado por el fabricante con temperatura exterior de 20°C – interior de 5°C)

Una vez se tiene el consumo energético teórico ( $E_t$ ) en watios·hora, se debe calcular el consumo energético real ( $E_r$ ) necesario para hacer frente a múltiples factores de pérdida que van a existir en la instalación fotovoltaica.

Por lo tanto, el consumo real será, el consumo teórico dividido por el rendimiento del sistema.

$$E_r = \frac{E_t}{R}$$

Siendo R:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot \left(1 - \frac{K_a \cdot N}{P_d}\right)$$

Los factores de la ecuación anterior, son los siguientes:

$K_b$ : Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador. Va desde 0,05 para sistemas que no demanden descargas intensivas del acumulador, hasta 0,1 para sistemas con descargas profundas.

$K_c$ : Coeficiente de pérdidas en el convertidor. Va desde 0,05 para convertidores sinusoidales puros (trabajando en régimen óptimo), hasta 0,1 para condiciones de trabajo alejadas del punto óptimo.

$K_v$ : Coeficiente de pérdidas varias. Agrupa pérdidas pequeñas, como el efecto joule, pérdidas de red.... De 0,05 hasta 0,15 como valores de referencia.

$K_a$ : Coeficiente de autodescarga diario.

- 0,002 para baterías de baja autodescarga Ni-Cd
- 0,005 para baterías estacionarias de Pb-ácido (más comunes en el mercado)
- 0,012 para baterías de alta autodescarga (arranque de automóviles)

N: Número de días de autonomía de la instalación.

Son los días en que la instalación opera con una carga mínima, como por ejemplo en días nublados y sin viento. En estos días normalmente se consume más energía de la que se puede producir.

$P_d$ : Profundidad de descarga diaria de la batería.

Esta profundidad de descarga no excederá el 80%.

En la realización de este proyecto se han considerado los valores siguientes, con sus consecuentes coeficientes de pérdidas:

$K_b:0,05$

$K_c:0,05$

$K_v:0,1$

$K_a:0,005$

$N:2$

$P_d:0,8$

Según la ecuación anterior, el rendimiento de la instalación fotovoltaica R, es el siguiente:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot \left(1 - \frac{K_a \cdot N}{P_d}\right) = (1 - 0,05 - 0,05 - 0,1) \cdot \left(1 - \frac{0,005 \cdot 2}{0,8}\right) = 0,79$$

Y por lo tanto el consumo energético real E (W·h) es:

$$E_r = \frac{E_r}{R} = \frac{2093}{0,79} = 2.649,37(W \cdot h)$$

# **CAPÍTULO 4:**

# **SISTEMAS DE**

# **PRODUCCIÓN DE**

# **ENERGÍA ESCOGIDOS**

De los diferentes sistemas de producción de energía eléctrica, se han estudiado y analizado sus ventajas y desventajas. Comparando las características se han seleccionado los sistemas óptimos para la vivienda unifamiliar aislada.

Los sistemas escogidos son, en cuanto a producción de energía eléctrica, un sistema híbrido formado por un aerogenerador y paneles fotovoltaicos, aprovechando las energías renovables eólica y solar del lugar.

Como sistema auxiliar se ha optado por el acondicionamiento del agua caliente sanitaria por medio de un sistema solar térmico.

## **4.1. Sistema híbrido de producción de energía eléctrica (energía eólica y solar)**

Los sistemas híbridos combinan distintos sistemas de producción de electricidad y almacenamiento para suministrar la demanda de energía. Al sistema solar fotovoltaico se le pueden añadir motores generadores convencionales, generadores eólicos, pequeñas centrales mini hidráulicas, y cualquier otra fuente de energía, para satisfacer la demanda de energía aprovechando en conjunto todos los recursos renovables de una zona. Ciertos recursos de energía renovable presentan la peculiaridad de complementarse. Así ocurre con la luz solar y con el viento. Es muy alta la probabilidad de que, en aquellos instantes

en los que dispongamos de poca o ninguna luz solar, dispongamos de un mayor recurso eólico, y viceversa. Este sistema es ideal para aplicaciones destinadas a zonas rurales. Un caso muy extendido a lo largo de todo el mundo en sistemas de hibridación es el sistema que consta de una central solar fotovoltaica, una central eólica y motor diesel convencional. Como opciones alternativas, antes de adoptar tal sistema híbrido, se presentaban la ampliación del tendido eléctrico, por consiguiente una conexión a la red eléctrica, o la adopción de un generador diesel como única fuente de generación eléctrica. Esta segunda opción es descartada por dos razones fundamentales: el enorme coste de mantenimiento, en reparaciones y en recarga de combustible, y la elevada frecuencia con la que el generador debe ser repuesto o sustituido por rotura. Añadidas a estas razones, se encuentran el elevado nivel de ruido que genera, como la contaminación que provoca tanto por vertido como por emisión. En cuanto a la otra opción, no son muchos los metros de tendido que deben realizarse para que tal opción conlleve una mayor inversión inicial que la correspondiente al sistema híbrido. El sistema híbrido central solar, generador eólico y motor diesel y baterías ofrece muchas ventajas. Los costes de construcción suelen ser una pequeña parte de aquellos que se requieren para realizar una extensión de la red eléctrica, y los gastos de mantenimiento y el combustible son bastante inferiores que los que tendría un generador diesel funcionando solo. El sistema híbrido suele tener, por si mismo bastante mayor capacidad de generación eléctrica, aportando así energía a más casas y negocios. Además tiene mucha mayor fiabilidad que un generador diesel funcionando solo, debido a que incluye diversos sistemas de generación eléctrica de apoyo y un banco de baterías más grande. En un sistema de este tipo, la central solar genera energía eléctrica durante el día, y las turbinas eólicas cargan las baterías siempre que sopla el viento (el viento, usualmente es más fuerte de noche). Si se produjese una serie de días consecutivos de muy alta nubosidad y con muy poco viento, o si la demanda de energía eléctrica aumentase por encima de lo usual, el generador diesel entraría a funcionar para apoyar al sistema y así poder suministrar la demanda.



**Figura 3.** *Ejemplo de sistema híbrido, placas fotovoltaicas con generadores eólicos.*

## 4.2. Sistema solar térmico

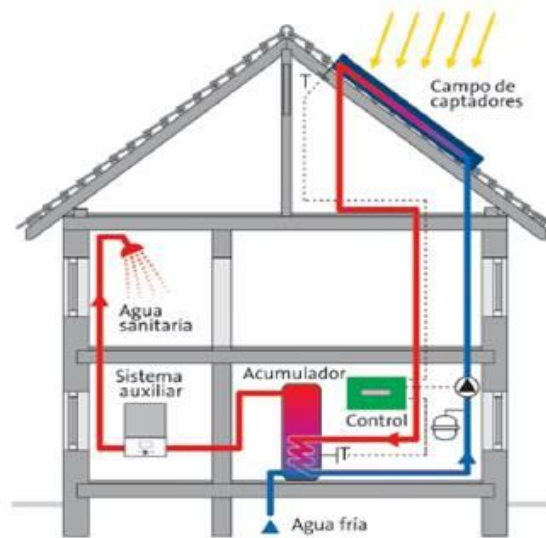
La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor, este calor puede aprovecharse en diferentes usos, en este caso sería para agua caliente sanitaria.

Para que este tipo de aprovechamiento de energía sea lo máximo eficiente posible se ha de diseñar teniendo en cuenta la radiación solar y ángulos de incidencia del lugar a situar los paneles solares.

De manera muy esquemática, el sistema de energía solar térmica funciona de la siguiente manera: el colector o panel solar capta los rayos del sol, absorbiendo de esta manera su energía en forma de calor, a través del panel solar hacemos pasar un fluido (normalmente agua) de manera que parte del calor absorbido por el panel es transferido a dicho fluido, el fluido eleva su temperatura y es almacenado o directamente llevado al punto de consumo.

En cuanto a la generación de agua caliente para usos sanitarios, hay dos tipos de instalaciones: las de circuito abierto y las de circuito cerrado. En las primeras, el agua de consumo pasa directamente por los colectores solares. Este sistema reduce costos y es más eficiente (energéticamente hablando), pero presenta problemas en zonas con temperaturas por debajo del punto de congelación del agua, así como en zonas con alta concentración de sales que acaban obstruyendo los paneles.





**Figura 4.** *Instalación solar térmica en una vivienda.*

En cuanto a las instalaciones, podemos encontrar desde equipos compactos para dotar de agua caliente sanitaria a una casa unifamiliar, hasta instalaciones más complejas con fluidos caloportadores distintos al agua, intercambiadores de calor, grandes depósitos de acumulación, etc.

# CAPÍTULO 5: DISEÑO DE LOS SISTEMAS ESCOGIDOS

A partir de las especificaciones básicas, de situación y consumos de la vivienda unifamiliar se realizan los cálculos de dimensionado de la instalación híbrida para la producción de energía eléctrica. Así como el dimensionado del sistema auxiliar para el acondicionamiento del agua caliente sanitaria.

## 5.1. Sistema híbrido de producción de energía eléctrica (energía eólica y solar)

Para el diseño de la instalación se ha optado por un sistema a 24V, por sus prestaciones en cuanto a diseño, componentes y ventajas en su posterior conversión.

Una vez definida la utilidad energética real  $E$  (W·h) y la tensión nominal  $V$  del acumulador que es de 24V, se puede obtener con facilidad la capacidad del banco de baterías  $C$  (A·h) necesario, con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{E_R \cdot N}{V \cdot p_d} = \frac{2.649,37 \cdot 2}{24 \cdot 0,8} = 275,98(A \cdot h)$$

A partir de la capacidad calculada, se ha de seleccionar el equipo comercial que dé las mejores prestaciones para nuestra instalación, se opta para poner un grupo comercial que sobrepase el valor calculado, ya que por error siempre se puede consumir más de lo calculado.

En este caso se utiliza la siguiente batería:

Batería de 24 voltios, utilizando 4 módulos de 6 voltios conectados en serie, de la marca **TAB**, modelo **OPzS 300**, que proporciona 300 (Ah).

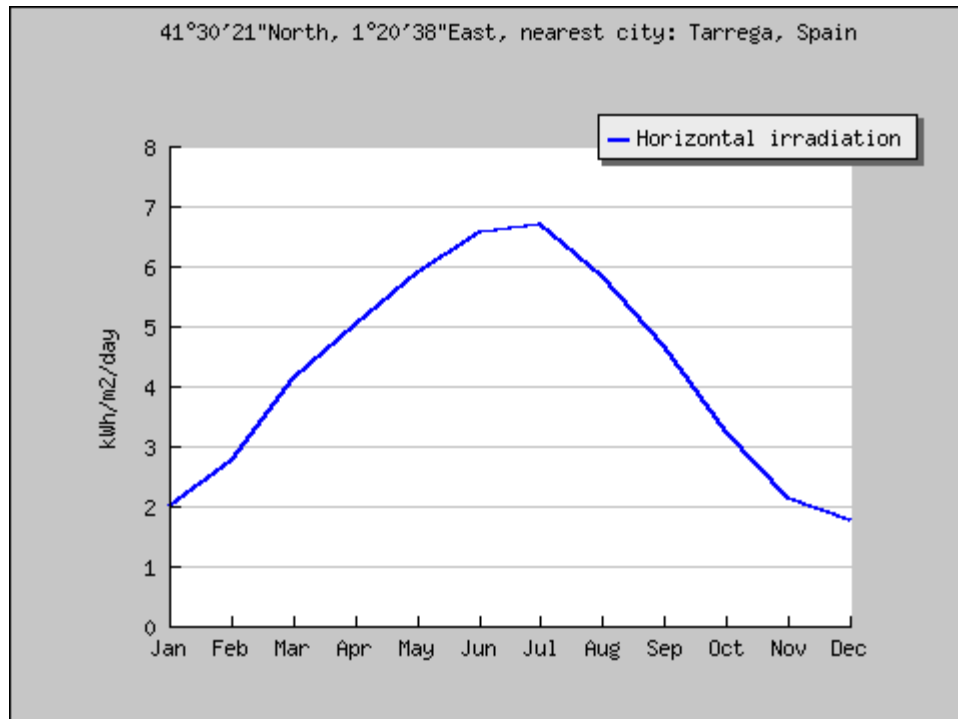
Una vez definida la batería que se va a utilizar, se pasa a calcular los paneles solares y el aerogenerador que se tiene que utilizar en la instalación.

Primero se hace un estudio histórico de la zona donde se quiere poner los paneles fotovoltaicos, se busca en la base de datos de irradiación mundial online y se utilizan las coordenadas geográficas del lugar (latitud N= 41° 30' 21" Norte / longitud W=1° 8' 31" Este Elevación: 693m) para contrastar los valores. De aquí se deduce el valor de irradiación solar diaria media en superficie inclinada H (kWh/m<sup>2</sup>·dia) del lugar.

Los resultados mensuales medios se recogen en una tabla.

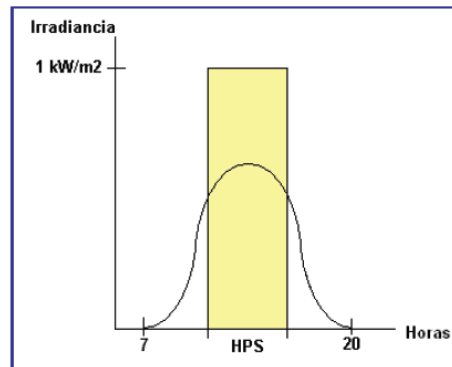
**Tabla 2.** *Irradiación solar diaria media (Fuente: Censosolar).*

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	
HPS	1,986	2,770	4,135	5,048	5,895	6,577	
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
	6,706	5,837	4,677	3,244	2,142	1,767	<b>4,240</b>



**Figura 5.** Irradiación solar durante un periodo de un año

A partir de aquí, se introduce un concepto muy importante, las horas de pico solar HPS (h), definidas como las horas de luz solar por día equivalentes, pero definidas en base a una irradiancia  $I$  (kW/m<sup>2</sup>) constante de 1 kW/m<sup>2</sup>, a la que está siempre medida la potencia de los paneles solares. De este modo se puede hacer una valoración de la luz diaria de irradiancia solar con una curva diaria.



**Figura 6.** *Irradiancia con horas de pico solar.*

Como puede verse en la figura, el área definida por el rectángulo (irradiación en base a las horas de pico solar) es igual al área definida por la curva horaria de irradiancia real.

La irradiación  $H$  ( $\text{kWh/m}^2$ ) es igual al producto de la irradiancia de referencia  $I$  ( $1 \text{ kW/m}^2$ ) por las horas de pico solar  $HPS$  (h). Entonces los valores numéricos de la irradiación y horas de pico solar son iguales.

$$H\left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}\right) = I\left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2}\right) \cdot HPS(h)$$

Por lo tanto según esta ecuación, los valores numéricos de la tabla, son igualmente válidos para las horas de pico solar. Y consecuentemente los paneles solares producen una energía eléctrica durante todo el día equivalente a sólo las horas de pico solar operando a su máxima potencia. Esa máxima potencia es el principal parámetro que define un panel solar y es uno de principales parámetros de diseño que el proyectista debe definir.

A partir de la fórmula siguiente, se calcula el número de paneles fotovoltaicos:

( $W_p$ , es la potencia de pico de la placa fotovoltaica.)

$$NP = \frac{E_r}{0,9 \cdot W_p \cdot HPS}$$

Se Utiliza esta fórmula para el mes más desfavorable del año, de este modo se calcula el número de paneles fotovoltaicos óptimo. También se quitan los 500W que proporcionará el aerogenerador.

Se ha escogido un panel **Sanyo**, modelo **HIP-230HDE 230W**

$$NP = \frac{2149}{0,9 \cdot 230 \cdot 1,767} = 5,875 \approx 6$$

A partir de la fórmula, se puede observar cómo se necesitan 6 paneles fotovoltaicos para la instalación.

Para la regulación, se ha llegado a la conclusión de utilizar dos reguladores para la tensión. Uno regulará la tensión de tres paneles y el otro de los tres restantes. De este modo:

$$I_{\max}(3) = 6,67 \cdot 3 = 20A$$

A partir de aquí ya se puede escoger el regulador para su intensidad máxima correspondiente. Los reguladores escogidos son:

Regulador de Carga Steca Solarix PRS 2020 20A 12/24v

Ahora se procede al estudio del aerogenerador. Se necesita un aerogenerador capaz de generar una energía de 500(W·h). Se ha escogido un aerogenerador que proporciona 500W, modelo windworker -500H/WM500.

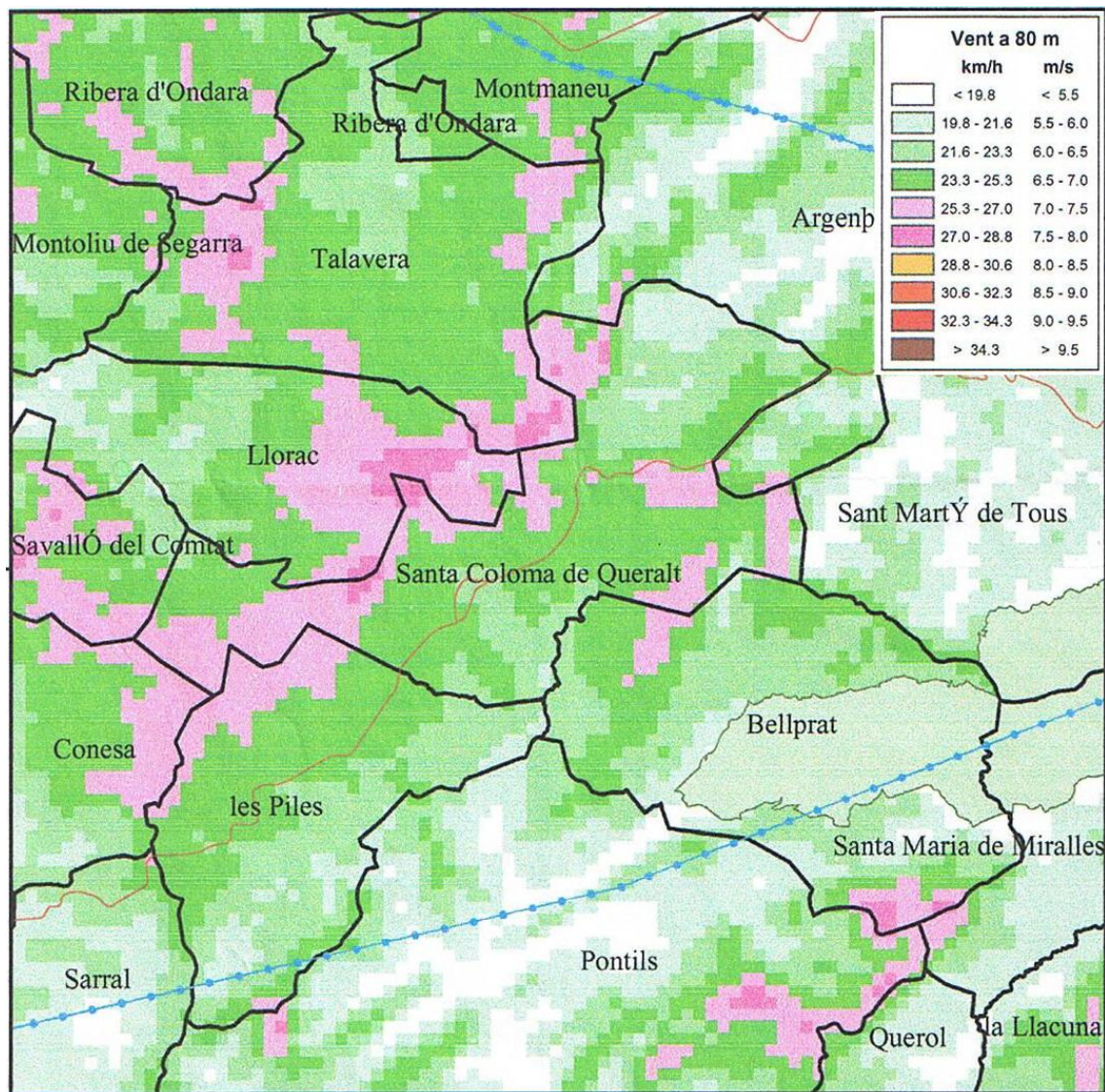
En la tabla siguiente hay las medidas medias mensuales en m/s tomadas el 2007 y 2008 por la estación meteorológica de Santa Coloma de Queralt, población ubicada a 8 Km del lugar al cual se quiere poner la instalación eólica doméstica. Son las medidas numéricas tomadas más fiables de la zona.

**Tabla 3.** Medidas medias mensuales en m/s.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	año
2007	3,4	3,9	4,1	2,5	3,6	2,5	2,6	2,7	2,5	2,4	3,2	3,8	3,1
2008	3,3	2,2	4,8	3,3	2,5	2,3	2,3	2,4	2,3	2,5	4,2	3,8	3,0

En la tabla 3 se puede observar como hay velocidad suficiente como para poder accionar el molino en cuestión, pero no para hacerlo funcionar en régimen permanente, para su producción nominal. Puesto que la estación meteorológica está a 8 Km y a una altitud inferior a la de vivienda, estos valores sólo son orientativos.

En la figura 7 se puede observar la velocidad media del viento en la zona donde hay la vivienda aislada.



**Figura 7.** Velocidad media del viento de la zona estudiada.

Esta gráfica demuestra como la velocidad del viento en la vivienda es superior a la de la zona donde está colocada la estación meteorológica de Santa Coloma de Queralt. A partir de la gráfica se observa como la velocidad del viento es suficiente, para la producción que se requiere.

A partir de las medidas recibidas, al ver que el proyecto es viable, se tendría que hacer un estudio de la velocidad del viento como mínimo durante un período de dos años, justo en el sitio donde se quiere colocar el molino, ya que siempre pueden haber perturbaciones, debidas a árboles, casas, montañas, etc. Puesto que el proyecto es teórico y se puede observar que el viento en la zona es suficiente para una instalación eólica doméstica. El molino eólico escogido, se considerará apto para poder producir los 500W·h requeridos.

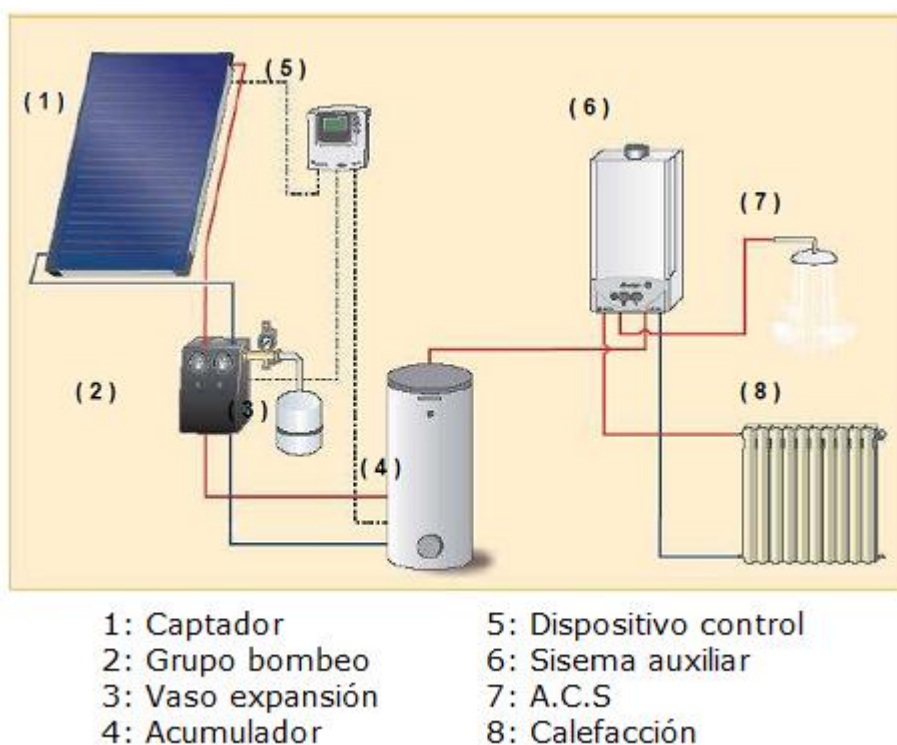
También se escoge un regulador para el aerogenerador, este tiene que trabajar a 24 V, con una corriente máxima de 20,83 A.



Se ha escogido el regulador Steca Solarix PRS 3030 30A 12/24v, puesto que es de la misma casa que el de las placas fotovoltaicas.

## 5.2. Sistema solar térmico

Para el diseño de agua caliente sanitaria se ha obtenido por utilizar un sistema de acondicionamiento por el método de energía solar térmica, en el cual se aprovechara la energía solar para augmenatar la temperatura del agua, se instalará un equipo prefabricado de termosifón formado por los componentes mostrados en la figura 8, así como el uso de un sistema auxiliar para complementar la instalación.



**Figura 8.** Instalación solar térmica para agua caliente sanitaria.

### 5.2.1. Cálculo de la demanda energética del edificio

La siguiente tabla 4 extraída del pliego de condiciones técnicas de baja temperatura 2009 (IDAE) define los consumos unitarios en L / día en función del uso al que esté destinada la instalación, para una temperatura de preparación de 60°C.



**Tabla 4.** Consumos unitarios en función del uso (Fuente:IDEA).

<b>Criterio de consumo</b>	<b>Litros/día</b>	
Viviendas unifamiliares	30	Por persona
Viviendas multifamiliares	22	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por cama
Hoteles (4 estrellas)	70	Por cama
Hoteles (3 estrellas)	55	Por cama

En el caso que estamos tratando estaríamos dentro del apartado para viviendas unifamiliares.

**Tabla 5.** Consumo de la vivienda al día.

	Personas	Litros	Consumo ACS
Vivienda unifamiliar	4	30	120
		Total L/día	120

$$Q_{\text{Día}} = 120 \text{ L}$$

A efectos del cálculo de la carga de consumo, los valores orientativos de temperatura de agua fría (°C) se indican en la tabla.

**Tabla 6.** Temperatura de agua fría en Tarragona.

<b>Mes</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	
Tarragona	6	7	9	11	12	13	
	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>AÑO</b>
	14	13	12	11	9	6	<b>10.3</b>

**Tabla 7.** Cálculo de la demanda energética anual.

<b>MES</b>	<b>N</b> <b>Día/mes</b>	<b>T<sub>AF</sub></b> <b>°C</b>	<b>DE<sub>mes</sub></b> <b>kWh</b>
Ene	31	10,3	214,47
Feb	28	10,3	193,71
Mar	31	10,3	214,47
Abr	30	10,3	207,55
May	31	10,3	214,47
Jun	30	10,3	207,55
Jul	31	10,3	214,47
Ago	31	10,3	214,47
Sep	30	10,3	207,55
Oct	31	10,3	214,47
Nov	30	10,3	207,55
Dic	31	10,3	214,47
<b>Total</b>			<b>2525,2</b>

$$DE_{mes} (kWh) = Q_{dia} \cdot N \cdot (T_{ACS} - T_{AF}) \cdot 1.16 \cdot 10^{-3}$$

N Número de días del mes considerado

T<sub>AF</sub> Temperatura agua red, en °C

T<sub>ACS</sub> temperatura referencia agua caliente, en °C

Q<sub>Dia</sub> consumo diario de ACS del edificio a la temperatura TACS, en litros/día

DE<sub>mes</sub> demanda energética mensual

### 5.2.2. Elección de la fracción solar anual

Para edificios con un consumo de agua caliente sanitaria inferior a 1000 litros/día, la fracción solar mínima anual ha de ser del 60%. El equipo solar prefabricado se elegirá de modo que respete esta condición.

### *5.2.3. Elección del modelo del sistema de calentamiento*

#### *3.2.3.1 Cálculo de la radiación solar mensual incidente $EI_{mes}$ sobre la superficie inclinada del captador.*

Los valores, procedentes del atlas de radiación solar, para una inclinación de 45° son los que se recogen en la tabla siguiente.

**Tabla 8.** *Cálculo de la energía solar mensual incidente.*

<b>MES</b>	<b>EI MJ/día</b>	<b>EI kWh/día</b>	<b>EI<sub>mes</sub> kWh/mes</b>
Ene	12,83	3,56	110
Feb	15,15	4,21	118
Mar	17,94	4,98	154
Abr	19,89	5,53	166
May	20,67	5,74	178
Jun	20,84	5,79	174
Jul	20,90	5,81	180
Ago	20,63	5,73	178
Sep	19,26	5,35	161
Oct	16,63	4,62	143
Nov	13,85	3,85	115
Dic	12,19	3,39	105
<b>Total</b>			<b>1782</b>

#### *3.2.3.2 Cálculo del parámetro $D_1$*

El parámetro  $D_1$  se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$D_1 = \frac{EA_{mes}}{DE_{mes}}$$

Siendo

$DE_{mes}$  la demanda energética mensual (kWh/mes)

$EA_{mes}$  la energía solar mensual absorbida por los captadores (kWh/mes)

$$EA_{mes} = S_c \cdot F'_R(\tau\alpha) \cdot EI_{mes}$$

Donde

$S_c$  es la superficie de captación solar (Según las hipótesis realizadas)

$EI_{mes}$  es la energía solar mensual incidente sobre la superficie de los captadores (kWh/m<sup>2</sup>mes)

$F'_R(\tau\alpha)$  es un factor adimensional, su expresión es:

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha) \cdot \left[ \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \frac{F'_R}{F_R}$$

Donde

$F'_R(\tau\alpha)_n$  es el factor de eficiencia óptica del captador

$[(\tau\alpha)(\tau\alpha)_n]$  es el denominado modificador de ángulo de incidencia(0,96 para captadores con una cubierta de vidrio)

$F'_R/F_R$  es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor 0.95

En la tabla se indican los valores del parámetro  $D_1$  para los doce meses del año.

$$S_c = 4m^2$$

$$F_R(\tau\alpha)_n = 0,78$$

$$F'_R(\tau\alpha) = 0,71136$$

**Tabla 9.** Cálculo del parámetro  $D_1$ .

<b>MES</b>	<b>DE<sub>mes</sub></b> <b>kWh</b>	<b>EI<sub>mes</sub></b> <b>kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>EA<sub>mes</sub></b> <b>kWh</b>	<b>D<sub>1</sub></b>
Ene	214,47	110	313,00	1,46
Feb	193,71	118	335,76	1,73
Mar	214,47	154	438,20	2,04
Abr	207.55	166	472,34	2,28
May	214,47	178	506,49	2,36
Jun	207.55	174	495,11	2,39
Jul	214,47	180	512,18	2,39
Ago	214,47	178	506,49	2,36
Sep	207.55	161	458,12	2,21
Oct	214,47	143	406,90	1,90
Nov	207.55	115	327,23	1,58
Dic	214,47	105	298,77	1,39
<b>Total</b>	<b>2525,2</b>	<b>1782</b>	<b>5070,59</b>	

DE<sub>mes</sub> la demanda energética mensual (kWh/mes)

EI<sub>mes</sub> es la energía solar mensual incidente sobre la superficie de los captadores (kWh/m<sup>2</sup>mes)

S<sub>C</sub> es la superficie de captación solar (Según las hipótesis realizadas)

F'<sub>R</sub>(Tq) factor adimensional

EA<sub>mes</sub> la energía solar mensual absorbida por los captadores (kWh/mes)

D<sub>1</sub> parámetro del método *f*-chart

### 3.2.3.3 Cálculo del parámetro $D_2$

El parámetro  $D_2$  se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$D_2 = \frac{EP_{mes}}{DE_{mes}}$$

Siendo

$DE_{mes}$  la demanda energética mensual (kWh/mes)

$EP_{mes}$  la energía solar mensual no aprovechada por los captadores (kWh/mes)

$$EP_{mes} = S_C \cdot F'_R \cdot U_L \cdot (100 - T_{AMB}) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

Donde

$S_C$  es la superficie de captación solar (Según las hipótesis realizadas)

$F'_R U_L$  factor calculado según la expresión (kW/(m<sup>2</sup>·K)):

$$F'_R U_L = F_R U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot 10^{-3}$$

$F_R U_L$  es el coeficiente global de pérdidas de captador

$F'_R/F_R$  es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador

$T_{AMB}$  es la temperatura media mensual del ambiente en °C.

$\Delta t$  es el periodo del tiempo considerado en horas (para cálculos mensuales es el número de horas de cada mes)

**Tabla 10.** Temperatura media mensual del ambiente  
(Fuente: Censosolar).

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
$T_{AMB}$	9	10	12	15	18	22	24	24	22	17	13	10	<b>16,4</b>

$K_1$  se denomina factor de corrección por almacenamiento y su expresión es:

$$K_1 = \left[ \frac{V}{(75 \cdot S_C)} \right]^{-0,25}$$

$K_2$  se denomina factor de corrección para agua caliente sanitaria y relacionas las distintas temperaturas según la siguiente expresión:

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18T_{AC} + 3,86T_{AF} - 2,32T_{AMB})}{(100 - T_{AMB})}$$

Resumen de datos para cálculo de  $D_2$ :

$S_C = 4\text{m}^2$   
 $V = 300\text{l}$   
 $T_{AC} = 60^\circ\text{C}$   
 $F_R U_L = 7,8$   
 $F'_R U_L = 7,41 \cdot 10^{-3}$

**Tabla 11.** Cálculo del parámetro  $D_2$ .

MES	DE <sub>mes</sub> kWh	T <sub>AMB</sub> °C	T <sub>AF</sub> °C	Δt Horas	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	EP <sub>mes</sub> kWh	D <sub>2</sub>
Ene	214,47	9	10,3	744	1	1,11	2227,49	10,39
Feb	193,71	10	10,3	672	1	1,10	1971,89	10,18
Mar	214,47	12	10,3	744	1	1,07	2076,43	9,68
Abr	207,55	15	10,3	720	1	1,03	1868,39	9,00
May	214,47	18	10,3	744	1	0,98	1772,11	8,26
Jun	207,55	22	10,3	720	1	0,91	1514,77	7,30
Jul	214,47	24	10,3	744	1	0,87	1458,09	6,80
Ago	214,47	24	10,3	744	1	0,87	1458,09	6,80

Sep	207,55	22	10,3	720	1	0,91	1514,77	7,30
Oct	214,47	17	10,3	744	1	1,00	1830,33	8,53
Nov	207,55	13	10,3	720	1	1,06	1968,05	9,48
Dic	214,47	10	10,3	744	1	1,10	2183,16	10,18
<b>Total</b>	<b>2525,2</b>							

### 3.2.3.4 Determinación de la fracción solar mensual $f$ aportada por el sistema de captación solar

A partir de los parámetros  $D_1$  y  $D_2$  se calcula la fracción solar mensual a partir de la siguiente expresión:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

**Tabla 12.** Cálculo de la fracción solar mensual.

MES	$D_1$	$D_2$	$f$
Ene	1,46	10,39	0,5660
Feb	1,73	10,18	0,6831
Mar	2,04	9,68	0,8016
Abr	2,28	9,00	0,8881
May	2,36	8,26	0,9324
Jun	2,39	7,30	0,9748
Jul	2,39	6,80	0,9946
Ago	2,36	6,80	0,9877
Sep	2,21	7,30	0,9310
Oct	1,90	8,53	0,7946
Nov	1,58	9,48	0,6446
Dic	1,39	10,18	0,5395

$F$  fracción solar mensual



### 3.2.3.5 Determinación de la fracción solar anual $F$

Una vez conocidos los valores mensuales de  $f$ , puede calcularse la producción energética útil mensual de la instalación solar  $EU_{mes}$  multiplicando la demanda energética mensual  $DE_{mes}$  por  $f$ .

$$EU_{mes} = f \cdot DE_{mes}$$

La suma de los valores  $EU_{mes}$  será la producción energética anual del sistema de captación solar.

El cociente entre la producción energética anual de la instalación solar y la demanda energética anual será la fracción solar anual  $F$ .

**Tabla 13.** *Cálculo de la producción energética mensual útil.*

<b>MES</b>	<b>DE<sub>mes</sub> kWh</b>	<b><math>f</math></b>	<b>EU<sub>mes</sub> kWh</b>
Ene	214,47	0,5660	121,38
Feb	193,71	0,6831	132,32
Mar	214,47	0,8016	171,91
Abr	207.55	0,8881	184,33
May	214,47	0,9324	199,97
Jun	207.55	0,9748	202,32
Jul	214,47	0,9946	213,31
Ago	214,47	0,9877	211,84
Sep	207.55	0,9310	193,22
Oct	214,47	0,7946	170,43
Nov	207.55	0,6446	133,78
Dic	214,47	0,5395	115,71
<b>Total</b>	<b>2525,2</b>		<b>2050,52</b>

DE<sub>mes</sub> demanda energética, en kWh

F fracción solar mensual aportada por el sistema

EU<sub>mes</sub> producción energética mensual útil

La fracción solar anual resultante F sería:

$$F = \frac{2050,52}{2525,2} = 0,81$$

### 3.2.4 Características del equipo prefabricado

El equipo prefabricado se instalará superpuesto en la vertiente de la cubierta inclinada orientada al Sur, con una inclinación de 45º respecto a la horizontal.

Al acumulador del equipo se deberá conectar la alimentación de agua fría y la salida del agua caliente hacia el calentador o caldera de apoyo.

El sistema queda definido por:

Superficie de captación solar	S <sub>c</sub> = 4m <sup>2</sup>
Capacidad del depósito de acumulación	V = 300l
Demanda energética anual	2525,2 kWh
Producción energética solar anual	2050,52 kWh
Fracción solar anual obtenida	F = 81%

La fracción solar anual obtenida es elevada para cubrir al máximo las necesidades de la vivienda, así como previsión de ampliación de la instalación.

El kit solar térmico escogido para la instalación es:

El **kit K2-300**, el cual está calculado para suministrar agua caliente sanitaria a 4-6 personas. Los elementos fundamentales que componen este kit son los siguientes:

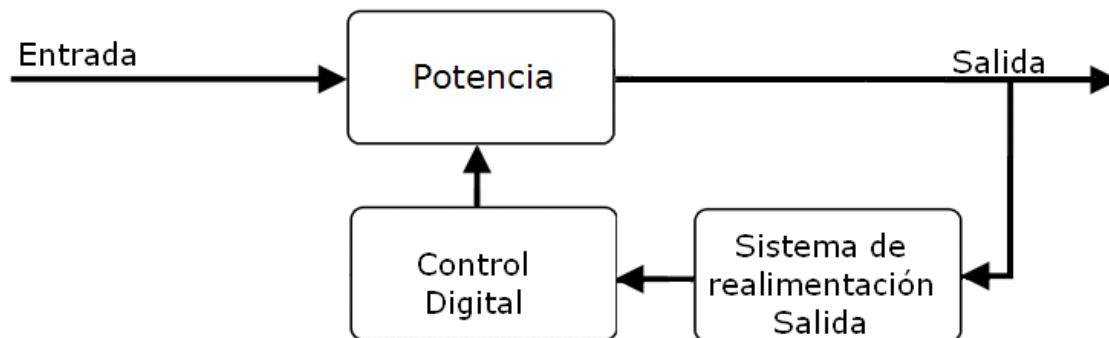
- 2 captadores Termicol T105 ó T105-S.
- 1 acumulador Lapesa de 300 litros modelo CV 300 HDP.
- Estructura soporte para los captadores.
- Centralita de control, con protección antihielo.

Caja de accesorios, que contiene purgador, vaso de expansión y valvulería necesaria para realizar la instalación.

# **CAPÍTULO 6: ESTRUCTURA DEL INVERSOR MONOFÁSICO Y EXPLICACIÓN.**

El inversor monofásico se compone de dos partes relevantes. Una es la parte de control, encargada de realizar el control del circuito de potencia, la realimentación de este y la visualización de los valores. Y la otra parte es la de potencia, encargada de proporcionar la tensión y la potencia requeridas, con la seguridad adecuada.

En la figura 9, se puede observar el diagrama de bloques del sistema escogido.



**Figura 9.** Diagrama de bloques del sistema implementado

En este diagrama se observa de forma general la distribución de las partes que configuran el inversor monofásico. Se observa como la parte de potencia, trata la señal de entrada, para modificarla y obtener la señal de salida deseada. Esta se puede obtener gracias al control previo obtenido gracias al control digital y la realimentación en la salida. En resumen, en la entrada se le aplica 24V en continua, después del debido control, extrae una señal sinusoidal de 230V.

## 6.1. Control

El control del inversor fotovoltaico se realiza con un dispositivo programable.

Se ha diseñado un circuito encargado de programar, alimentar y controlar las entradas y salidas del dispositivo en cuestión. Para ello primero se han hecho las simulaciones y las comprobaciones pertinentes.

La parte de control se encarga de producir dos señales SPWM e invertirlas para el control del puente. También tiene la función de estar en contacto con el usuario, indicándole en todo momento el consumo y la modulación que está utilizando. A parte da la señal de paro si esta es necesaria.

### 6.1.1. Realimentación de la salida

Este apartado es el encargado de recoger la señal en la salida y adaptarlo, para que el sistema de control pueda leerlo y saber en todo momento si tiene que variar la señal de control o parar el inversor.

## 6.2. Potencia

La parte de potencia se limita a recoger las señales de control y mediante unos drivers, dar la señal a los interruptores correspondientes, evitando que puedan crearse cortocircuitos. También eleva la tensión del inversor con un transformador, para poder obtener los 230 V eficaces en la salida.

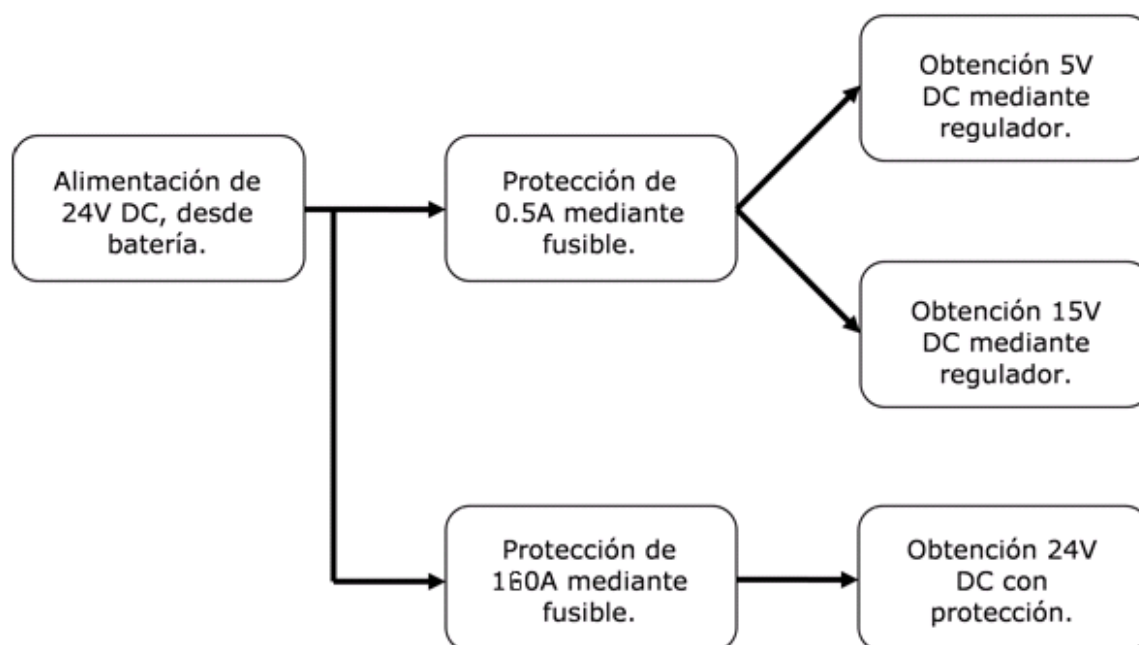
# **CAPÍTULO 7:**

# **ALIMENTACIÓN DE LOS**

# **CIRCUITOS**

En este capítulo se explica el tratamiento que se hace a la tensión de entrada para poder obtener las alimentaciones necesarias. Se necesitan tensiones continuas de 24, 15 y 5 voltios, para alimentar los circuitos de control y potencia.

Esquema del circuito de alimentación:



**Figura 10.** Diagrama de bloques del sistema implementado.

En la figura 10 se puede observar la idea principal del circuito de alimentación con las protecciones necesarias.

## 7.1. Alimentación 5, 15 y 24 voltios

Al ser un inversor fotovoltaico alimentando por baterías de 24 voltios, la alimentación principal que se tiene es una señal continua de 24 voltios la cual puede variar  $\pm 4$  voltios, por razones de seguridad se ha escogido un rango más elevado, aunque las variaciones en principio no llegan a los 3 voltios. Esto significa que se tiene una señal continua que puede variar de 20 a 28 voltios.

Una vez se tienen los 24 V, estos se dividen y se protegen independientemente dependiendo de la utilización a la que se destinen.

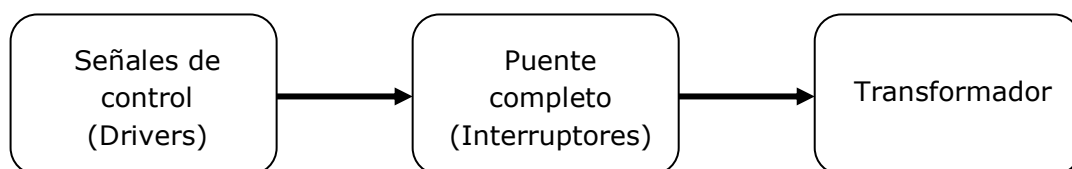
La primera rama se divide en dos, obteniendo dos voltajes distintos de 5 y 15 voltios, estos voltajes se obtienen mediante regulador, por este modo aunque varíe la señal en la entrada hasta 20 o 28 voltios, estos dos no van a variar. Por lo tanto se obtienen dos señales de 5 y 15 voltios protegidas y estables.

La segunda rama se coge los 24 voltios de la entrada y se protegen mediante un fusible. Este se tiene que escoger de 160A, puesto que es la intensidad máxima que se puede consumir en la entrada del inversor. Por lo tanto, obtendremos un voltaje variable de 20 a 28 voltios, protegido. Como el inversor dispone de realimentación en la salida, va a corregir la diferencia de voltaje de la entrada por sí mismo.

# CAPÍTULO 8:

## CIRCUITO DE POTENCIA

El circuito de potencia del inversor monofásico se caracteriza principalmente por un puente completo de interruptores, esta parte del inversor es la encargada de transformar idealmente de una tensión continua de 24V a una tensión alterna sinusoidal de amplitud 24V. La cual es amplificada mediante un transformador a una tensión alterna sinusoidal de 230V.



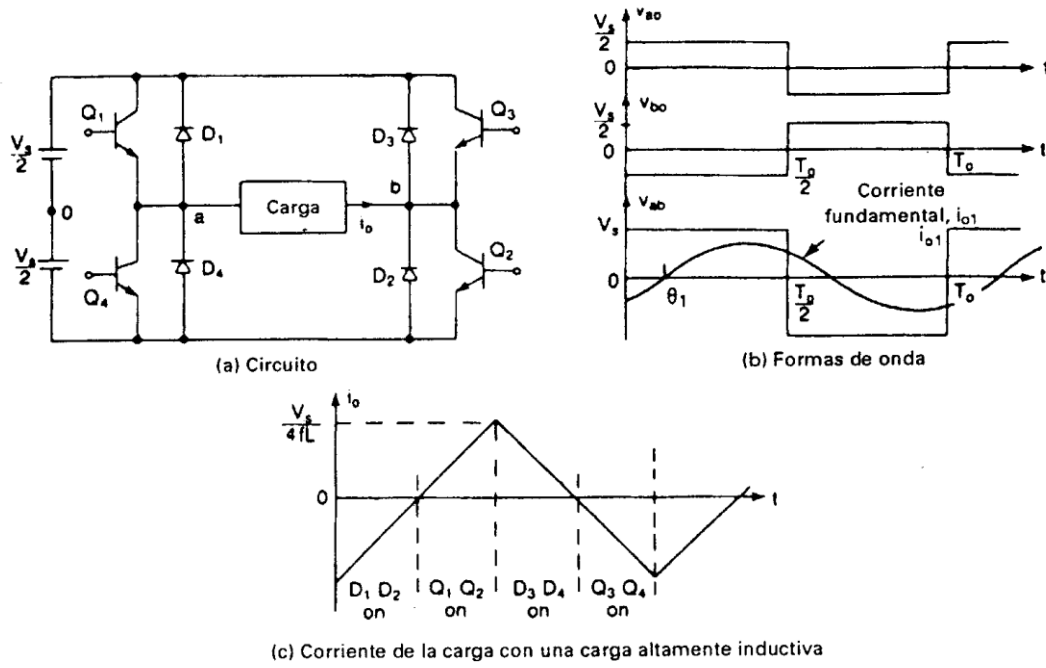
**Figura 11.** *Diagrama de bloques del sistema implementado.*

Para poder conmutar los interruptores, se utilizan dos señales de control provenientes del circuito de control. Estas señales se tratan con drivers para adecuarlas a su función.

### 8.1. Puente completo

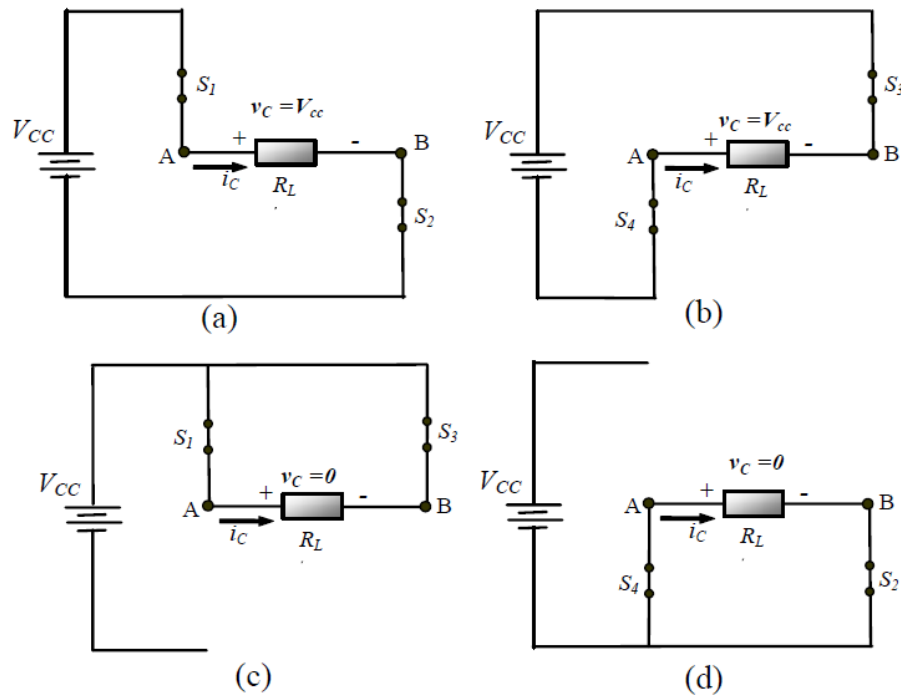
Un inversor monofásico en puente completo está formado por cuatro interruptores. Cuando los transistores Q1 y Q2 se activan simultáneamente, el voltaje de entrada  $V_S$  aparece a través de la carga. Si los transistores Q3 y Q4

se activan al mismo tiempo, el voltaje a través de la carga se invierte y adquiere el valor  $-V_s$ . La forma de onda del voltaje de salida se muestra a la figura 12.



**Figura 12.** Ondulador puente completo.

Los interruptores de potencia típicamente suelen ser MOSFETs o IGBTs, el funcionamiento de estos en el puente completo de forma detallada se muestra en la figura 13 con sus respectivas tensiones en la tabla 14.



**Figura 13.** Circuitos equivalentes en sus diferentes estados.



**Tabla 14.** *Equivalencia de tensiones.*

<b>Interruptores cerrados</b>	<b>Tensión de salida vc</b>	<b>Circuito equivalente de la figura X</b>
$S_1$ y $S_2$	+Vcc	a
$S_3$ y $S_4$	-Vcc	b
$S_1$ y $S_3$	0	c
$S_2$ y $S_4$	0	d

El voltaje *rms* de salida se puede determinar a partir de

$$V_o = \left( \frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s$$

La ecuación

$$v_o = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \sin(n\omega t)$$

se puede extender para que exprese el voltaje instantáneo de salida en una serie de Fourier como

$$v_o = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \sin(n\omega t)$$

Por  $n=1$ , la ecuación proporciona el valor *rms* de la componente fundamental como

$$V_1 = \frac{4 \cdot V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi} = 0.90 \cdot V_s$$

Utilizando la ecuación

$$i_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n)$$

la corriente instantánea de la carga  $i_0$  por una carga RL se convierte en

$$i_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4 \cdot V_s}{n \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n)$$

Cuando los diodos  $D_1$  y  $D_2$  conducen, se retroalimenta la energía hacia la fuente de CD, por eso se dice que  $D_1$  y  $D_2$  son diodos de retroalimentación. La figura 7.2c muestra la forma de onda de la corriente por una carga inductiva.

Se tiene que el voltaje rms de salida, surge de la fórmula siguiente

$$V_0 = \left( \frac{2}{50} \int_0^{50/2} 24^2 dt \right)^{1/2} = V_s = 16,97V$$

Ahora se puede deducir la corriente de cada rama en el inversor, a partir de la potencia que este tiene que entregar.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2650W}{16,97V} = 156,16A$$

Por lo tanto se tiene una corriente de pico en cada rama de 156,16A y cada transistor tendrá que poder aguantar esta corriente para un trabajo seguro.

Como cada transistor conduce con un ciclo de trabajo del 50%, se tiene una corriente media en cada transistor de,

$$I_Q = 0,5 \cdot 156,16A = 78,08A$$

La ecuación

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \sin(n\omega t)$$

se puede extender para que exprese el voltaje instantáneo de salida en una serie de Fourier como

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \sin(n\omega t)$$

Y por  $n=1$ , la ecuación proporciona el valor *rms* de la componente fundamental como

$$V_1 = \frac{4 \cdot V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi} = 0,90 \cdot 24 = 21,6$$

De aquí se saca el valor de la tensión de la primera fundamental.

Ahora que ya se tienen los cálculos necesarios, se escogen los mejores interruptores para esta aplicación. Se necesitan 4 interruptores, capaces de aguantar 12V y 157A. Se ha escogido 4 interruptores IGBT **FAIRCHILD SEMICONDUCTOR - FGA180N30DTU**, capaces de aguantar 180 Amperios de continua y hasta 300 Voltios.

## 8.2. Drivers

Las señales de control de los mosfets necesitan ser adaptadas por un driver de tal manera que proporcionen la suficiente corriente para hacer conmutar a los interruptores del puente completo.

El driver más adecuado para el inversor monofásico a diseñar es el **IR2110 de International Rectifier**.

Este circuito integrado permite tener un control de la tensión de puerta de dos transistores de una misma rama. Sus principales características son:

- Proporciona canal flotante para trabajar en operación bootstrap.
- Funciona con una tensión de hasta 500V en el bus de DC.
- Puede trabajar con transistores de tensión negativa.
- Inmune a  $dV/dt$ .
- Proporciona una tensión de puerta entre 10 y 20V.
- Permite trabajar a altas frecuencias de conmutación.
- Contiene un pin de habilitación (enable) que en activarse permite bloquear los canales de salida abriendo los interruptores.
- Proporciona bajas pérdidas internas a alta frecuencia.
- No permite que dos interruptores de la misma rama estén abiertos al mismo tiempo.

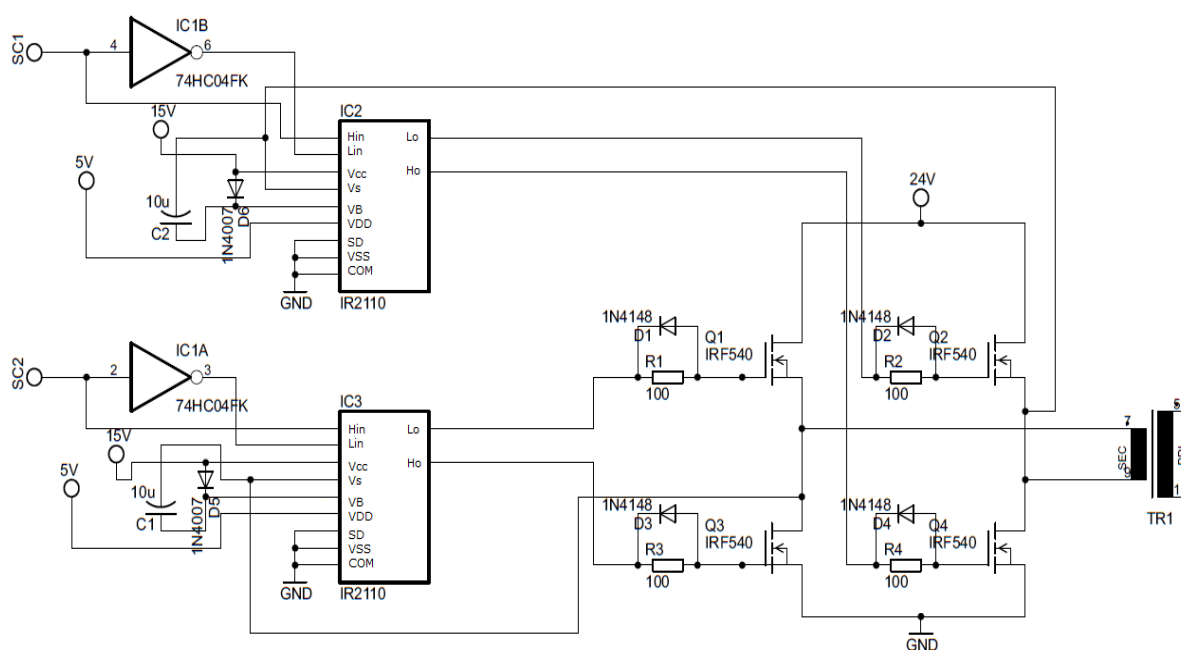
### 8.3. Transformador

Una vez obtenida la señal sinusoidal de valor eficaz 16.97V, se tendrá que transformar hasta llegar a un valor de 230V.

Para ésta transformación se utilizará un transformador, para poder transformar la señal se tendrá en cuenta las pérdidas en el transformador así como la distorsión armónica de la señal en el primario del transformador.

De tal manera que de forma ideal, su relación de transformación es de cómo mínimo 1:17.

### 8.4. Esquema de circuito de potencia



**Figura 14.** Circuito de potencia.

# **CAPÍTULO 9: CIRCUITO DE CONTROL**

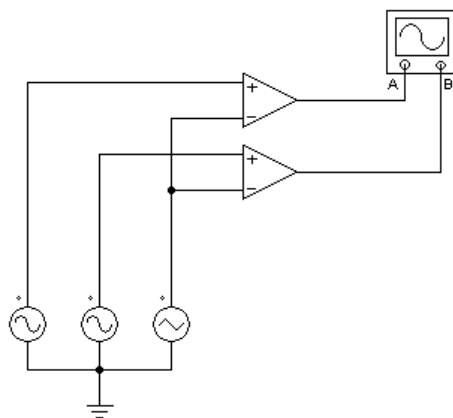
El circuito de control se centra principalmente en un circuito diseñado para el control mediante pic, más concretamente el pic 18F2420 o de mismo patillaje. Este circuito se encarga de las conexiones exteriores hacia el pic y del hardware necesario para que luego el pic mediante software pueda habilitar las entradas y salidas pertinentes para el control.

## **9.1. Obtención de las señales de control mediante Psim y Excel**

Las señales de control principales se obtienen mediante el programa PSIM, estas se recogen en tablas mediante Excel, se pasan al programa y luego se transmiten a través del pic.

Mediante el simulador psim se obtienen las señales de control en forma de gráfica. Estas se convierten en tablas de Excel y luego se obtienen los tiempos para las conmutaciones de cada branca del puente.

En la figura 15, se puede observar la obtención de las señales de control.



**Figura 15.** Imagen del simulador Psim

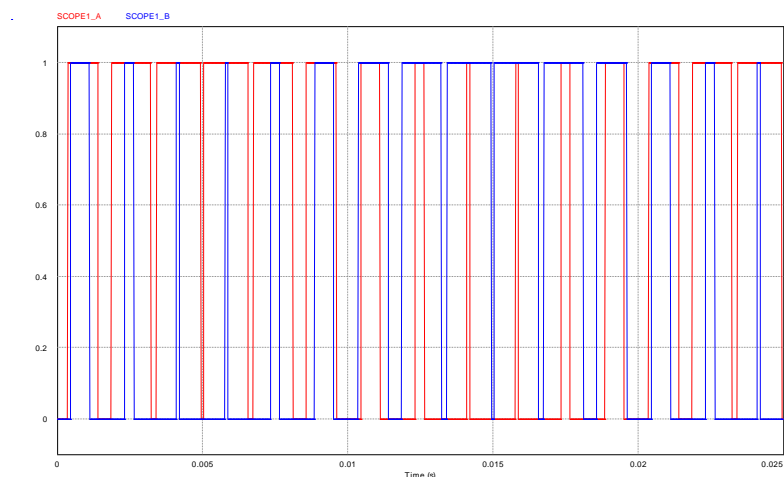
En la figura anterior se tienen dos generadores de onda sinusoidal, de 50 Hz, el segundo con un desfase de  $180^\circ$  respecto al primero, que está a  $0^\circ$ . La tensión de los dos es la misma y esta varía en función de la modulación de amplitud, "MA", que se desee. Más adelante se explicará su cálculo.

También se tiene un generador de onda triangular, de frecuencia variable, dependiendo de la modulación de frecuencia, "MF", que se quiera. Esta tiene desfase de  $180^\circ$ . Esta onda triangular se le da un valor de 6 voltios de pico a pico, con un offset de -3 voltios. A partir de aquí se tiene una onda triangular de 3 a -3 voltios de pico a pico. Con esto se pueden hacer los cálculos de la tensión de la señal sinusoidal.

Dependiendo de la modulación de amplitud que se quiera obtener, se da una tensión a la señal sinusoidal u otra.

Para una modulación del 100% se le da el mismo valor que a la triangular, por lo tanto 3 voltios, para una del 90%, 2,7 voltios, para el 80%, 2,4 voltios y así para otras modulaciones. Por lo tanto se multiplica el porcentaje, se multiplica la modulación en amplitud deseada, por el valor de la tensión de la sinusoidal.

De aquí se obtiene una gráfica en el osciloscopio como la de la figura 16.



**Figura 16.** Imagen de las señales obtenidas con una frecuencia de 1000 Hz y una modulación en amplitud de 0.75

Una vez se tienen las gráficas, se pasan a formato de tabla de Excel, donde se observa el cambio de las señales de 0 a 1 con tiempos mínimos de 10 microsegundos, para el caso de 1000 Hz.

**Tabla 15.** *Ejemplo de tabla de Excel, una vez se le han extraído los tiempos*

Time	SCOPE1_A	SCOPE1_B		delay (us)
0,00022	0	0		220
0,00025	1	0		30
0,00069	1	1		440
0,00078	1	0		90
0,00117	0	0		390
0,00131	1	0		140
0,00164	1	1		330
0,00184	1	0		200
0,00212	0	0		280
0,00236	1	0		240
0,0026	1	1		240
0,00288	1	0		280
0,00308	0	0		200
0,0034	1	0		320

En la tabla anterior se observa un ejemplo de la tabla obtenida con el Excel, esta tabla ya se le han extraído los tiempos y calculado el retardo "delay" mediante una fórmula de Excel.

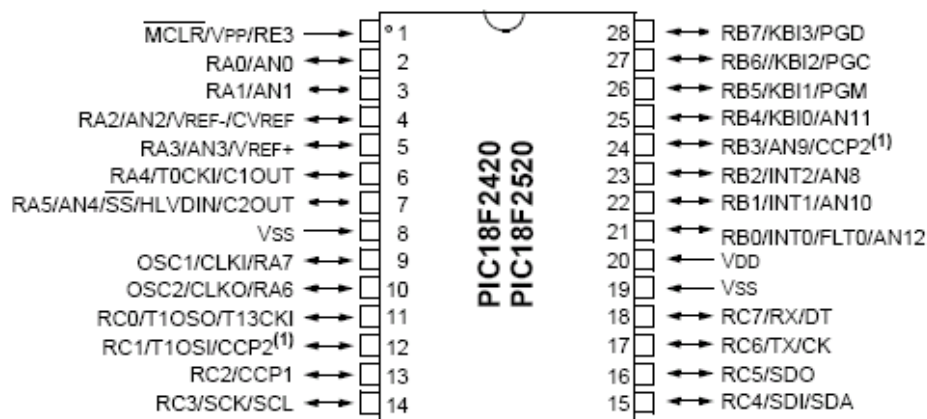
Los valores obtenidos de las dos señales de control se colocan en una tabla en c del programa pcw, utilizado para la programación del pic. Luego se llama la tabla por programa dependiendo de la modulación que se requiera en cada caso.

## 9.2. PIC

Como se ha comentado en apartados anteriores el microprocesador utilizado es de la casa microchip, por lo tanto vulgarmente se le puede llamar "pic".

Debido a los requisitos que se tienen que cumplir con el diseño, se ha escogido el **pic 18F2420**.

En la figura 17 se describe de forma gráfica el encapsulado del pic, donde se observa con claridad la función pin por pin.



**Figura 17.** Imagen del pic con la nomenclatura de los pins

Las especificaciones más importantes en general y requeridas de este pic, son las siguientes:

- Encapsulación PDIP de 28-pin.
- ROM de 8192 bytes.
- RAM de 768 bytes.
- 10 convertidores analógico-digital.
- 2 salidas CCP, para el control de puentes.

Estas son los principales requisitos que tiene que cumplir el pic, puesto que la memoria no puede ser inferior de 8 kbytes, sino no habría suficiente espacio para el programa. Luego se necesita que sea rápido, para que la señal de control sea la correcta y que como mínimo tenga dos convertidores analógico-digitales y dos salidas de ccp disponibles.

Para la programación de este pic se ha optado para una programación en c, y como programa para la realización de esta programación se ha escogido el compilador pcw de ccs. Se ha escogido este compilador debido a su sencillez y potencia. Una vez se ha compilado el programa en c, este se pasa a hexadecimal y mediante el programador PICKit 2 se programa el dispositivo programable.

Por lo tanto para la compilación del programa, se utiliza el compilador pcw de ccs y para la programación, el PICKit 2 de la casa microchip.

### 9.2.1. Funciones básicas del pic:



- Generación de las señales de control de los dos semipuentes, creando de este modo un puente completo.
- Señalización por la pantalla de la lcd, la tensión y el corriente que está consumiendo el inversor y la modulación que este está utilizando en todo momento.
- Realimentación de la salida para obtener en todo momento una tensión de 230 voltios eficaces, sin perturbaciones, ni caídas de tensión.
- Paro de emergencia manual y automático en caso de consumo elevado de corriente o cortocircuito.

### *9.2.2. Pines del pic utilizados*

Para la realización de este proyecto no se utilizan todos los pines del pic, puesto que no es necesario, hay pines utilizados como entradas, otros como salidas y los imprescindibles para que el pic funcione correctamente.

Descripción de los pines para entradas, salidas y alimentación:

Entradas:

- El pin 1 del pic hace la función de reset, en caso de fallo del programa o bloqueo del mismo, accionando un pulsador, se establece un nuevo inicio del programa.
- Los pines 2 y 3 hacen la función de entrada de la tensión para los convertidores analógico-digital de tensión y corriente, respectivamente.
- El pin 5 hace la función de tensión de referencia para el convertidor analógico-digital. Esta tensión puede tener un valor como máximo igual al de la tensión de alimentación, en este caso se alimenta mediante un regulador de tensión que proporciona 4,15 voltios, normalmente utilizado en estos casos.
- Los pines 9 y 10 se utilizan para la colocación del cristal, para dar una frecuencia de referencia estable y eficaz, este cristal puede tener una frecuencia de cómo mucho 25MHz, para este pic.
- El pin 14 se utiliza para dar señal que se ha activado el paro de emergencia y desconectado la carga.

Salidas:

- Los pines 12 y 13, se utilizan para dar las señales de control al puente completo. Estas señales se generan mediante software y luego se transmiten hacia la placa de potencia.
- El puerto b, quitando el pin RB3, se utiliza para controlar la pantalla lcd, los pines RB4, RB5, RB6 y RB7, se utilizan para la transmisión de los datos y los pines RB0, RB1 y RB3, para dar señal de escritura, de lectura y de habilitación.

- Los pines 17 y 18, se pueden utilizar para la comunicación al ordenador, mediante un integrado, estas se convierten a datos para que puedan ser leídos por el puerto serie del ordenador.

Alimentaciones:

- La alimentación del pic, proviene de la placa de potencia, es una tensión de 5 voltios en continua, la cual se introduce por el pin 20 del pic, por el 19, se introduce la masa, para completar la alimentación.

### 9.2.3. Señalización por LCD

Gracias a una pantalla de cristal líquido "LCD", se pueden saber los valores más importantes del inversor. Los tres valores más importantes representados por pantalla son; el valor de la tensión a la que se está trabajando, el valor de la corriente que está consumiendo la carga conectada a él, y la modulación a la que el inversor está trabajando.

Para la señalización por lcd, el pic necesita el puerto b para transmitir los datos y dar las señales de escritura y lectura. Si se quisiera se podrían escoger pines por separado, como hay pines de sobras, se ha escogido coger un puerto entero.

En la figura 18 se observa un ejemplo de una pantalla de cristal líquido.



**Figura 18.** Imagen de la pantalla de cristal líquido

### 9.2.4. Realimentación de la salida

Para que se realice una modulación adecuada según la tensión de las baterías o la carga del inversor, es necesario poder modificar la modulación de la sinusoidal para poder aproximar la tensión de salida lo máximo posible a 230V eficaces.

Para poder saber si se tiene que aumentar la amplitud de la sinusoidal del secundario del transformador se ha de poder variar según la lectura que hagamos con el pic.

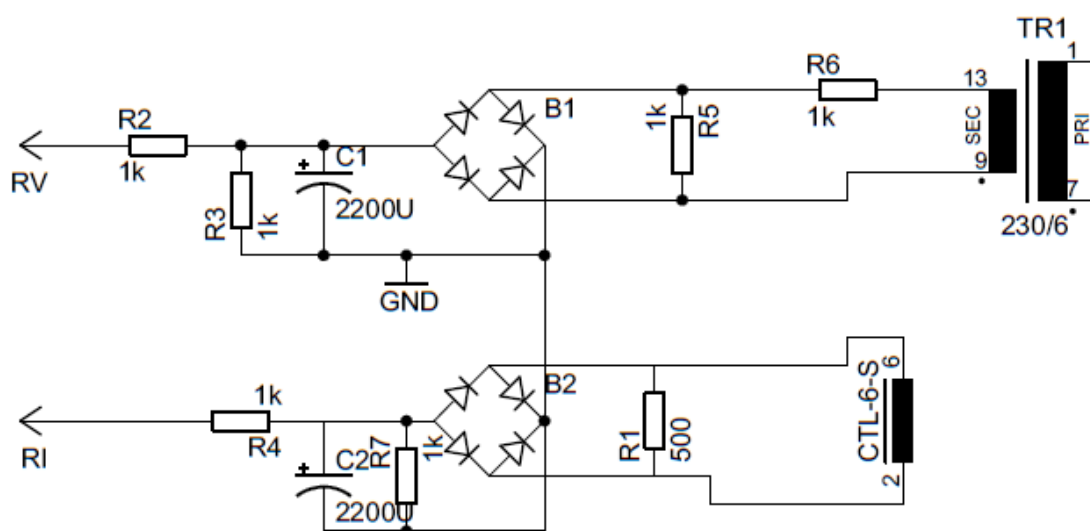
También se puede tomar lectura de la intensidad de toda la carga y así poder saber junto a la tensión de salida del secundario la potencia total de la carga.

a) Realimentación de tensión:

La función principal de esta realimentación es la de comunicar al pic que amplitud de señal tenemos en la salida del inversor.

Según la amplitud de esta señal el pic adecuará las señales de control para que a la salida del transformador tengamos una señal sinusoidal de 230V, independientemente de la carga conectada o de la tensión que ofrezcan las baterías, dentro de unos márgenes de seguridad.

La señal sinusoidal es captada del secundario del transformador elevador de potencia, esta señal sinusoidal es reducida con un transformador de poca potencia ya que la salida solo será utilizada para la lectura del microcontrolador. Para poder tener un valor no variable en el tiempo, esta señal sinusoidal reducida es rectificada y estabilizada y así tener un valor que varía en función de la amplitud de la señal sinusoidal de la salida del inversor. El esquema de la realimentación se muestra en la figura 19.



**Figura 19.** Esquema de realimentación de tensión y corriente.

En la figura se observa que para reducir la señal sinusoidal utilizamos un transformador 230/6 V de 6VA. Seguidamente la sinusoidal reducida obtenida es rectificada con un puente completo de diodos y estabilizada con un condensador de 2200uf.

Así obteniendo una tensión continua equivalente a la sinusoidal de salida.

*b) Realimentación de corriente:*

Para poder hacer una lectura de la corriente de carga del inversor, se diseña una realimentación de corriente muy similar a la de tensión, solo se utiliza un sensor de corriente en lugar de un transformador.

El sensor de corriente utilizado es el CTL-6-S, este sensor proporciona una señal sinusoidal en función de la corriente del conductor que pasa por su interior y de la resistencia de salida, que en este caso tiene que ser de 500  $\Omega$ , este valor se ha sacado mediante gráfica del datasheet.

Esta señal sinusoidal es rectificada y estabilizada para poder ser leída por el convertidor del PIC 18F2420.

El circuito es similar al de realimentación de tensión puesto que también estamos tratando con tensión. Este circuito se muestra en la figura 19.

# CAPÍTULO 10:

## PROGRAMA

El pic está programado mediante el compilador pcw de ccs, por lo tanto el programa está todo escrito en lenguaje C.

En este apartado se puede coger una idea básica del funcionamiento del programa mediante diagramas de flujo y explicación escrita.

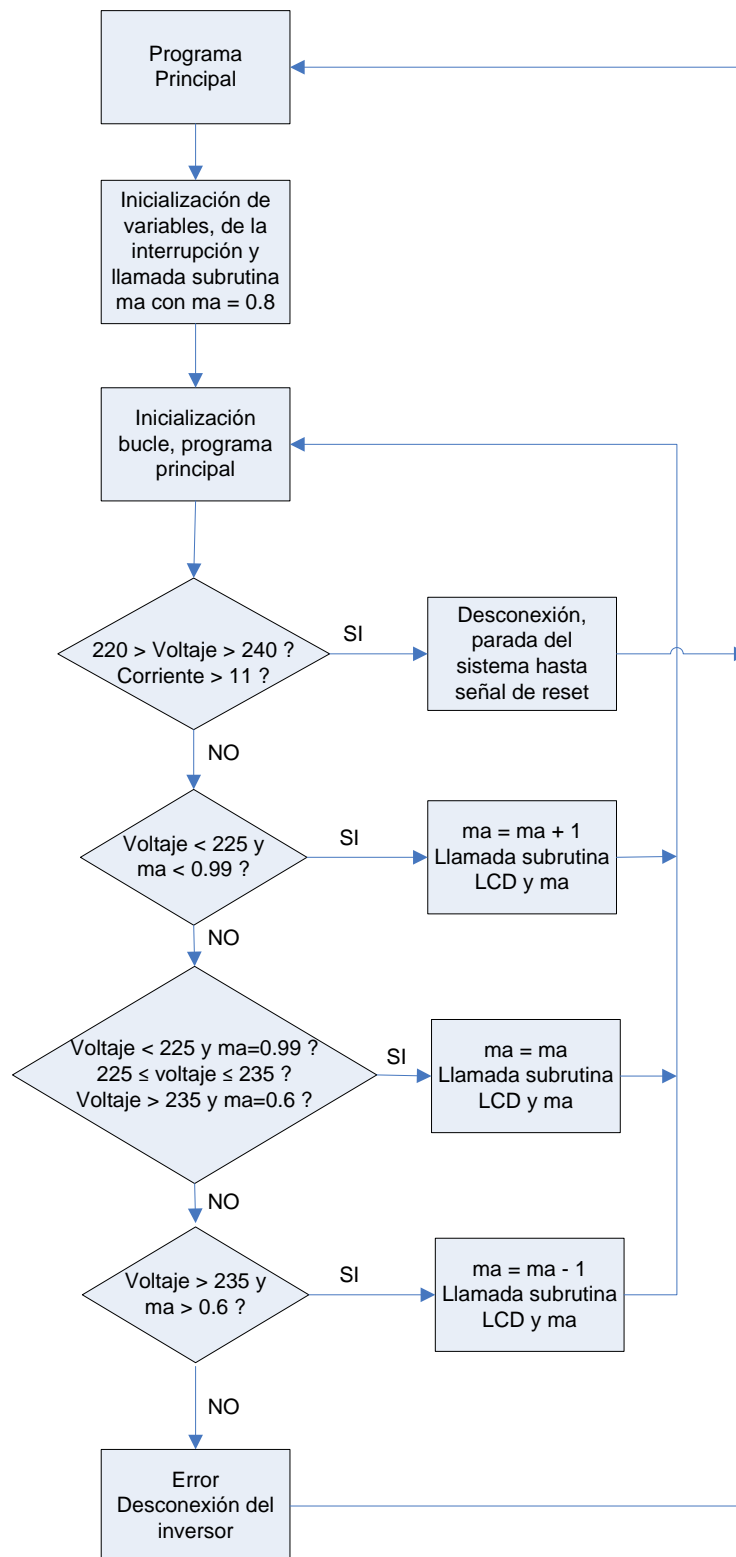
### 10.1. Programa principal

Observando la figura 19 se puede coger una idea principal del funcionamiento del programa, mediante un diagrama de flujo del programa principal.

Programa por puntos:

1. El programa inicializa variables, como el timer de la interrupción, la pantalla de cristal líquido, escribe un mensaje de inicialización y se preocupa que la primera señal de modulación sea la de 0.8, dándole esta señal para poder realizar la realimentación en el caso que el sistema ya esté conectado a una carga externa. En caso de no estar conectado a una carga, por lo tanto que el circuito esté en vacío, este seguirá con la modulación de 0.8.
2. Una vez descritas las variables e inicializado el programa, entra en el bucle del programa principal, del cual no se sale hasta que el pic reciba señal de reset, haya desconexión del inversor o señal de error.
3. Dentro del bucle del programa principal su trabajo más importante, es la protección de que en la salida no haya una tensión que exceda los 240 voltios, ni una tensión por debajo de los 220 voltios. Luego procede a la selección de la modulación necesaria. Para esta elección, dependiendo de las variables que este obtenga y las condiciones que cumpla, escoge una modulación u otra.

- c) Teniendo el valor de la tensión y de la corriente en la salida con el ma de 0.8, en el caso de que la tensión sobrepase los 240 voltios, no llegue a los 220 voltios o sobrepase los 11 amperios de corriente, este se desconecta y no vuelve a funcionar hasta nueva señal de reset. En el caso de que la tensión y el consumo de corriente sean los correctos sigue con la secuencia siguiente.
  - d) Siendo el valor de la tensión inferior a 225 y la modulación en ese momento inferior a 0.99, el programa sube la modulación a un grado superior al anterior y vuelve a realizar una lectura de la tensión y de la corriente. Al mismo tiempo llama a la subrutina de la lcd para que aparezcan los valores por pantalla. Este procedimiento sólo se realiza hasta llegar a la modulación de 0.99, modulación máxima a la que puede llegar, en ese momento se queda dando esta señal hasta que la tensión sea demasiado baja y se desconecte por programa.
  - e) Siendo el valor de la tensión comprendido entre 225 y 235, estos incluidos, la tensión inferior a 225 con modulación de 0.99 o la tensión superior a 235 con la modulación de 0.6, la modulación seguirá siendo la misma hasta que se salga de este rango. Al mismo tiempo llama a la subrutina de la lcd para que aparezcan los valores por pantalla.
  - f) Siendo el valor de la tensión superior a 235 y la modulación superior a 0.6, el programa baja la modulación a un grado inferior al anterior y vuelve a realizar una lectura de tensión y de la corriente. Al mismo tiempo llama a la subrutina de la lcd para que aparezcan los valores por pantalla. Este procedimiento sólo se realiza hasta llegar a la modulación de 0.6, modulación mínima a la que puede llegar, en ese momento se queda dando esta señal hasta que la tensión sea demasiado alta y se desconecte por programa.
4. En el caso de que no se cumpla ninguna de las especificaciones anteriores, el programa se para y no se vuelve a inicializar hasta una nueva señal de reset.

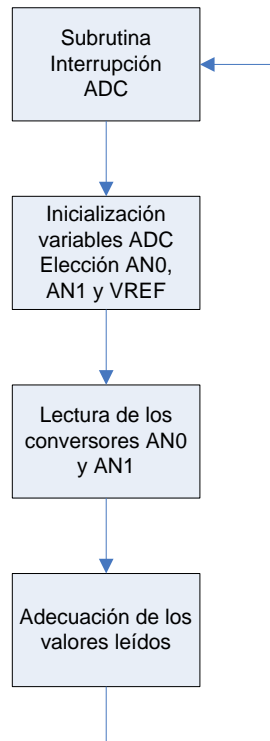


**Figura 20.** Diagrama de flujo del programa principal

## 10.2. Subrutina ADC

En la figura 21 se tiene el diagrama de flujo de la subrutina del convertidor analógico-digital.

Como se observa, esta subrutina es llamada por interrupción, esto quiere decir que depende de un timer, más precisamente el timer RTCC. Por programa se escoge el tiempo que debe tardar en dar la señal de interrupción. Una vez se le ha dado la señal, la subrutina inicializa las variables del ADC y selecciona el convertidor AN0, AN1 y la tensión de referencia, referenciada a masa. En segundo término, procede a la lectura de las dos entradas analógicas. Y para finalizar, hace la adecuación de los valores leídos para que sean iguales o similares a los valores obtenidos en la salida.



**Figura 21.** Diagrama de flujo de la subrutina del ADC

### 10.3. Subrutina LCD

En la figura 22 se observa el diagrama de flujo del programa que controla la pantalla de cristal líquido. Esta subrutina interactúa cuando se llama desde el programa.

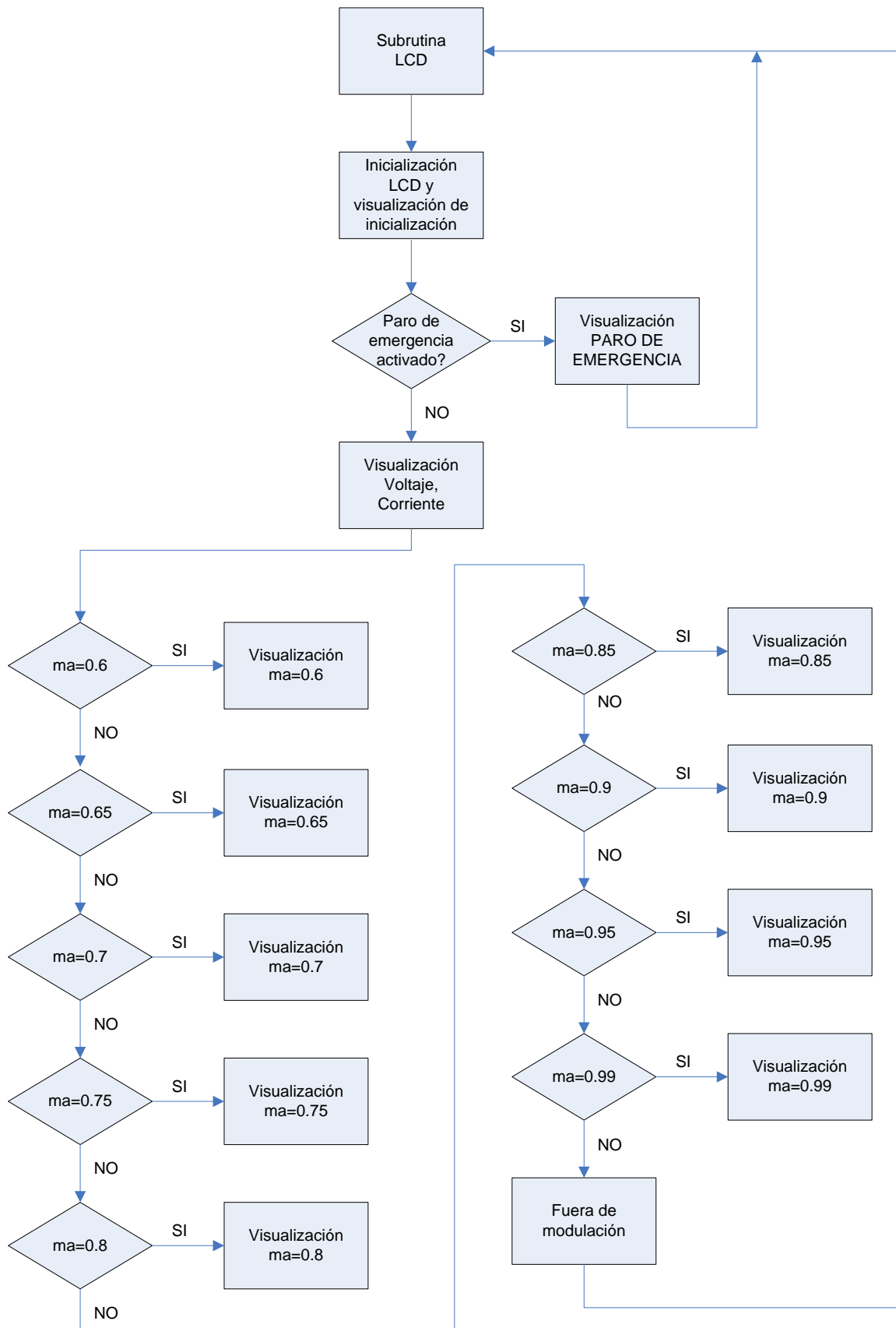
Programa por puntos:

1. Esta subrutina empieza inicializando variables y dando señal de inicialización. En este momento dependiendo de si el paro de emergencia está activado o desactivado, existen dos posibilidades.
2. Si la señal de paro de emergencia está activada, da señal por pantalla de que hay "PARADA DE EMERGENCIA" y vuelve al principio de la subrutina, esperando que esta vuelva a ser llamada.
3. Si la señal de paro de emergencia está desactivada, prosigue el programa dando por pantalla el valor de la tensión y de la corriente. Luego escoge el ma

que el programa está utilizando y lo saca por pantalla, siguiendo la siguiente secuencia.

- a) Si el  $m_a$  escogido es 0.6, visualiza por pantalla " $m_a=0.6$ " y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - b) Si el  $m_a$  escogido es 0.65, visualiza por pantalla " $m_a=0.65$ " y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - c) Si el  $m_a$  escogido es 0.7, visualiza por pantalla " $m_a=0.7$ " y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - d) Si el  $m_a$  escogido es 0.75, visualiza por pantalla " $m_a=0.75$ " y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - e) Si el  $m_a$  escogido es 0.8, visualiza por pantalla " $m_a=0.8$ " y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - f) Si el  $m_a$  escogido es 0.85, visualiza por pantalla " $m_a=0.85$ " y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - g) Si el  $m_a$  escogido es 0.9, visualiza por pantalla " $m_a=0.9$ " y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - h) Si el  $m_a$  escogido es 0.95, visualiza por pantalla " $m_a=0.95$ " y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - i) Si el  $m_a$  escogido es 0.99, visualiza por pantalla " $m_a=0.99$ " y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
4. Una vez sale de la secuencia, si se escoge un  $m_a$  que no está en el programa, visualiza por pantalla que el programa está fuera de modulación y vuelve al principio de la subrutina.





**Figura 22.** Diagrama de flujo de la subrutina de la LCD

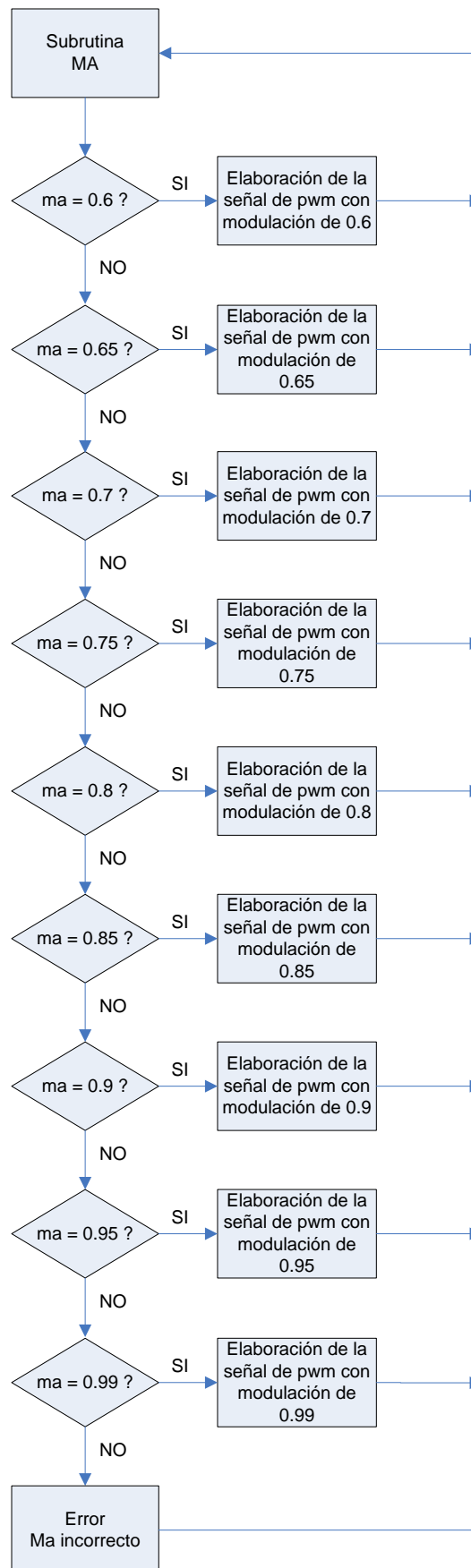
## 10.4. Subrutina ma

El la figura 23 se observa el diagrama de flujo de la subrutina de obtención del ma.

Si se observa al detalle, esta subrutina no es más que un grupo de valores, donde dependiendo del valor del ma que se necesita, se escoge una tabla u otra, sacando el valor por dos patas del puerto c del pic.

Programa por puntos:

5. Se llama a la subrutina, puesto que se requiere que el pic ejecute un ma específico para el control del puente completo, una vez se ha llamado a esta subrutina, esta saca una señal u otra, a no ser que haya desbordamiento en la llamada del ma, esto sólo puede ocurrir en el caso de que se produjera un error. En este momento entra en la secuencia para escoger ma.
  - j) Si el ma es de 0.6, produce la secuencia de las dos señales para el control del puente completo, para una modulación de 0.6 y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - k) Si el ma es de 0.65, produce la secuencia de las dos señales para el control del puente completo, para una modulación de 0.65 y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - l) Si el ma es de 0.7, produce la secuencia de las dos señales para el control del puente completo, para una modulación de 0.7 y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - m) Si el ma es de 0.75, produce la secuencia de las dos señales para el control del puente completo, para una modulación de 0.75 y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - n) Si el ma es de 0.8, produce la secuencia de las dos señales para el control del puente completo, para una modulación de 0.8 y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - o) Si el ma es de 0.85, produce la secuencia de las dos señales para el control del puente completo, para una modulación de 0.85 y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - p) Si el ma es de 0.9, produce la secuencia de las dos señales para el control del puente completo, para una modulación de 0.9 y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - q) Si el ma es de 0.95, produce la secuencia de las dos señales para el control del puente completo, para una modulación de 0.95 y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
  - r) Si el ma es de 0.99, produce la secuencia de las dos señales para el control del puente completo, para una modulación de 0.99 y vuelve al principio de la subrutina, sino prosigue con el programa.
6. Una vez termina con la secuencia, sino ha escogido ningún ma, da señal al programa principal de que está fuera de la modulación de la tabla y vuelve al principio de la subrutina.



**Figura 23.** Diagrama de flujo de la subrutina de obtención del ma

# **CAPÍTULO 11:**

## **SIMULACIONES**

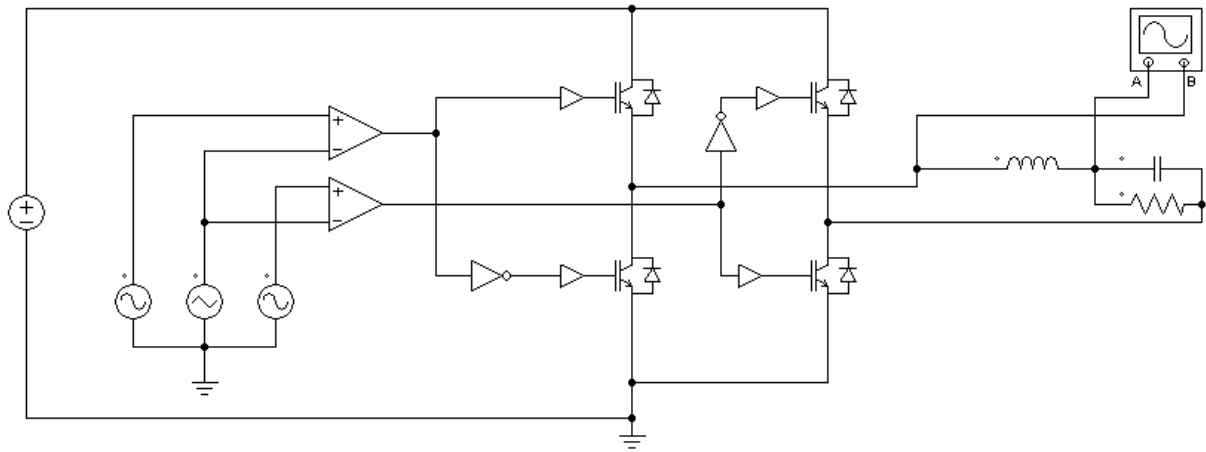
En este apartado se comentan las simulaciones básicas que se han utilizado antes de la elaboración del proyecto y mediante la elaboración del mismo. Para así poder obtener en todo momento una idea básica y una solución de los problemas que han ido surgiendo.

### **11.1. Simulaciones en PSIM del circuito inversor**

El simulador Psim se utiliza para una simulación del circuito de potencia en general. Mediante dos comparadores y tres señales, dos sinusoidales y una triangular, se obtienen las dos señales de control. Una de estas se aplica en la primera rama del inversor, invirtiendo la que va en el segundo interruptor y la otra se aplica en la segunda rama del inversor, invirtiendo la señal del primer interruptor. Al puente se le aplican 24 voltios de corriente continua, que es la tensión a la que se trabaja.

Una vez se tienen las dos señales en la salida, se filtran mediante un filtro LRC y se observan mediante un osciloscopio, en el que se puede observar la señal de salida antes y después de pasar por el filtro. De este modo se coge una idea principal de las señales que tienen que obtener en la salida.

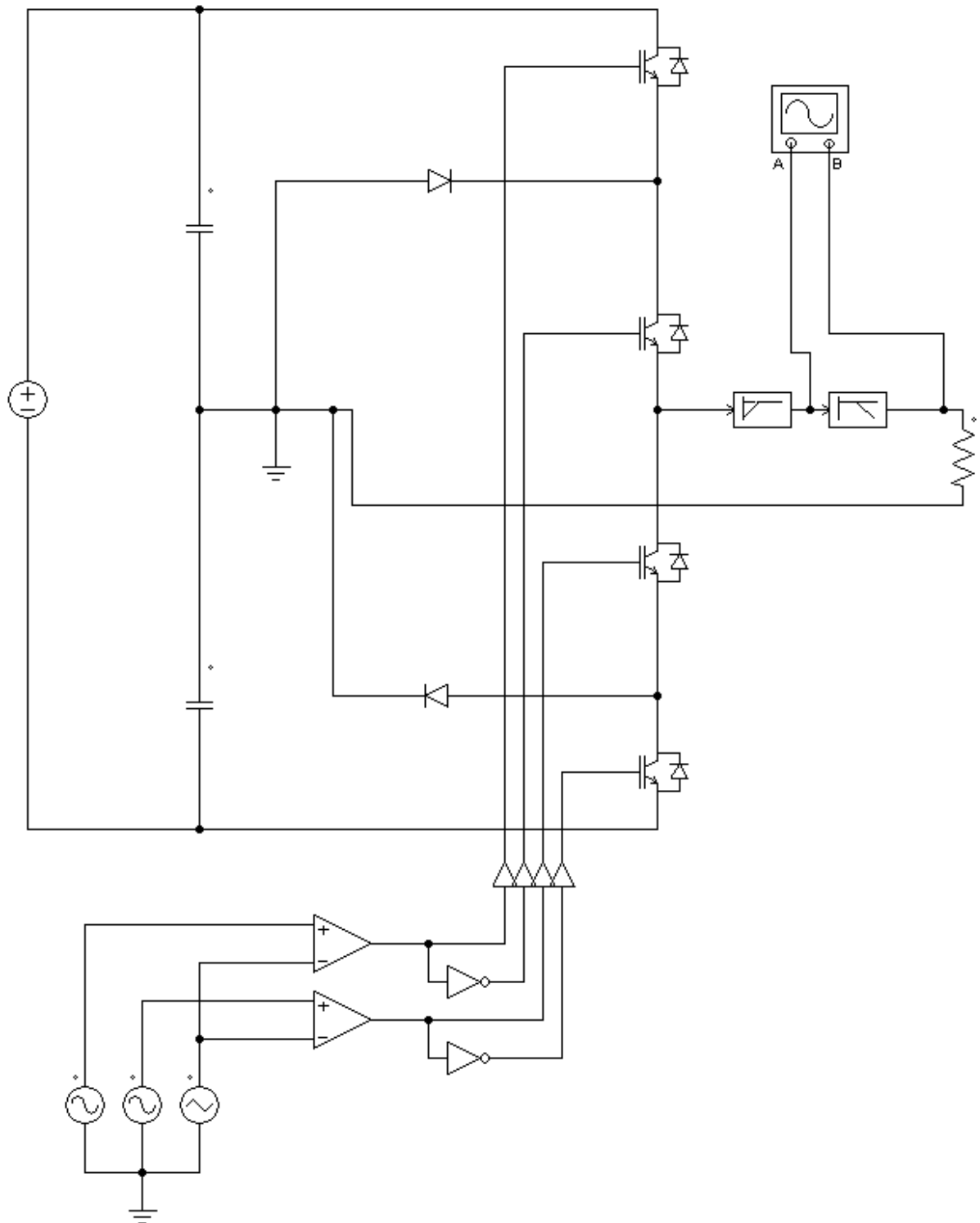
En la figura 24 se observa el circuito con el cual se obtiene la señal sinusoidal.



**Figura 24.** *Imagen del circuito diseñado con Psim*

Debido a que la señal sinusoidal tiene muchas perturbaciones, por el filtro y otros elementos, se construye otro circuito con el que se pueden simular con claridad las señales.

En la figura 25 se observa el circuito con el que se simulan las señales sin ruido ni perturbaciones.



**Figura 25.** Imagen del circuito simulado con Psim

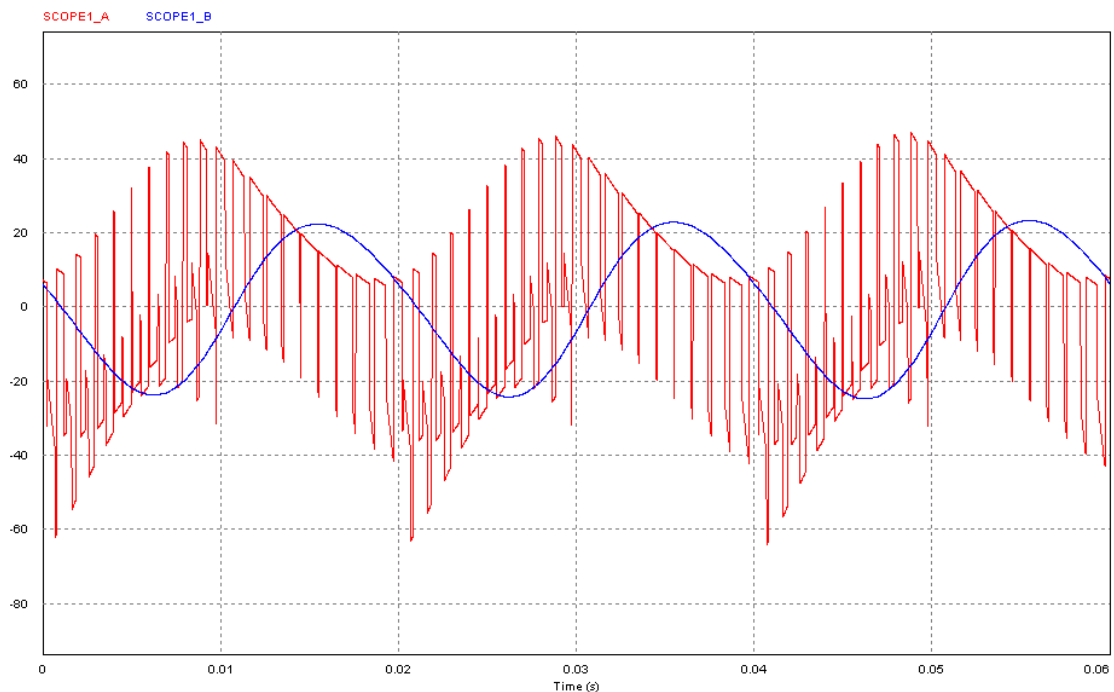
En el circuito anterior se observa cómo se adquieren dos señales con comparadores distintos, invirtiendo las señales en la salida del comparador, para dar señal al interruptor deseado. También se puede observar como el filtro instalado en la salida es un prediseñado por el simulador, un filtro pasa-bajos de segundo orden. La alimentación del inversor es la misma que con el otro circuito inversor.

La elaboración de este circuito se ha realizado de manera gradual, a medida que se iba obteniendo la señal deseada, se ha ido modificando por un lado u otro, llegando así al resultado final.

#### *11.1.1. Simulaciones realizadas en PSIM*

Una vez obtenido el circuito equivalente, se procede a las simulaciones del circuito para distintas modulaciones de frecuencia y amplitud. De este modo se puede observar como el circuito es funcional para la aplicación deseada.

En la figura 26 se observa el gráfico de la señal en la salida antes y después de ser filtrada.

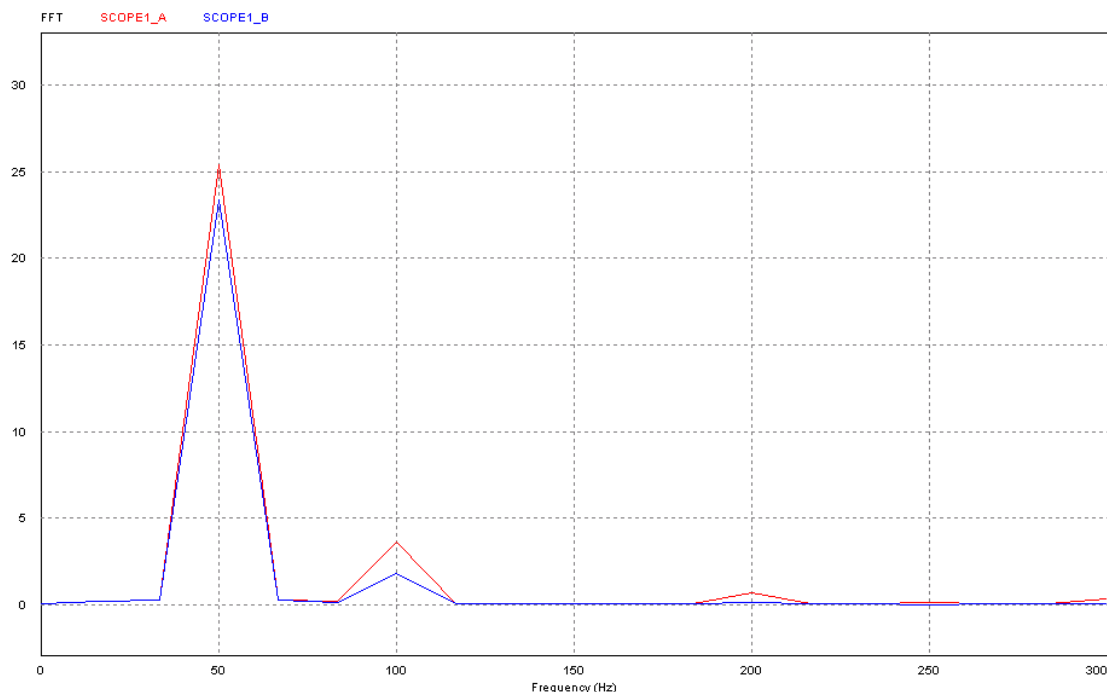


**Figura 26.** *Gráfico de la señal de salida, con una modulación de 0.9 y una frecuencia de la triangular de 1000Hz*

Con este gráfico se puede apreciar como el simulador es una buena herramienta para circuitos de potencia, aunque la señal en la salida sea con componentes ideales. Si se quisiera una obtención de la señal de la salida con componentes reales, se habría que poner los parámetros que el programa permitiera en cada componente.

Este gráfico sirve para observar más o menos la señal de salida antes de ser filtrada. Con esto se coge una idea de la señal que saldrá en el inversor.

En la figura 27 se observa la componente de la frecuencia de la señal de salida en forma de gráfico.



**Figura 27.** Gráfico de la componente de la frecuencia de la señal de salida

En este gráfico se observan las componentes de frecuencia que se obtienen con el circuito en la señal de salida, con y sin filtro. Se puede observar como el valor máximo se establece alrededor de los 50Hz, puesto que es el valor donde se trabaja.

Si se observan las señales al detalle, se puede ver como la señal azul, señal filtrada, elimina los armónicos que no necesita para la sinusoidal, gracias al filtro pasa-bajos, que empieza a actuar desde 75Hz.

Con este simulador se han simulado muchas más señales, variando su modulación de amplitud y frecuencia. No se ha visto necesario poner los resultados, puesto que los resultados siempre son las mismas ondas con diferentes amplitudes de frecuencia y voltaje.

## 11.2. Simulaciones en Proteus del sistema de control

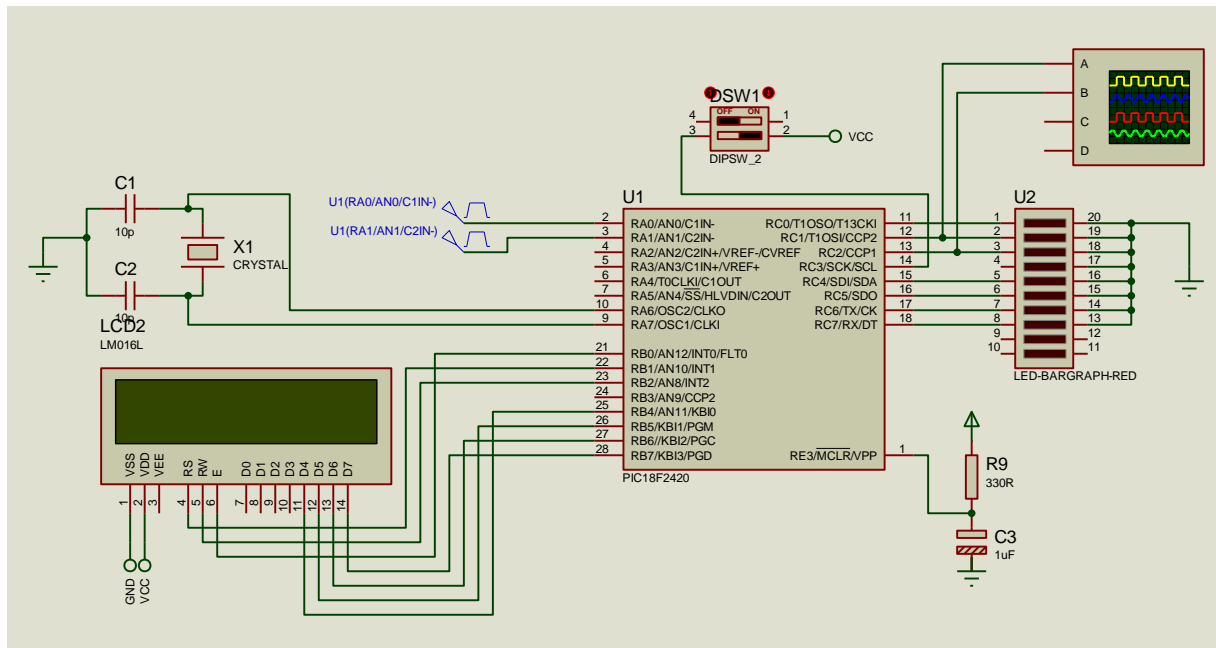
El simulador proteus, se utiliza para la elaboración de las simulaciones digitales, se ha escogido este simulador, debido a que en el rango de simulaciones digitales es una herramienta potente y eficaz para este circuito. Se necesita un simulador capaz de simular el pic utilizado, junto con componentes que este utilice, como la pantalla de cristal líquido, el convertidor analógico-digital....

Se ha utilizado este simulador para la elaboración de las simulaciones de la obtención de la señal de control de los interruptores, ya que se trata de un simulador el cual lleva incorporado las librerías para dispositivos programables y un osciloscopio para poder ver las señales en la salida.



En la simulación de pics, este simulador permite programar los pics con el programa que se emplearía en realidad. Gracias a esto se puede ir programando en función de los errores que cometes, variando en programa, sin tener que ir programando el pic con el programador en cada momento, pudiéndolo quemar o estropear.

En la figura 28 se observa el circuito básico elaborado para las simulaciones en proteus.



**Figura 28.** Circuito utilizado para la simulación digital en proteus

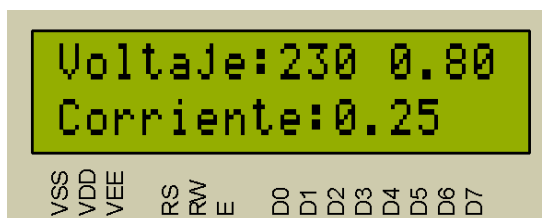
Este circuito es un reflejo del circuito real. El pic no necesita alimentación, pero necesita que se le coloque el cristal para la referencia de tiempo y el sistema de reset. A partir de este modelo, ya se le colocan los componentes que este requiera.

Mediante este circuito, se pueden observar las salidas del pic y dar señal a la entrada, para comprobar su correcto funcionamiento.

### 11.2.1. Simulación de la LCD

Con la simulación del pic junto a la lcd, se puede observar si la subrutina para la lcd funciona tal y como se ha programado.

En la figura 29 se puede observar como la lcd hace una simulación, transmitiendo numéricamente por pantalla el valor del voltaje, de la corriente y en la derecha superior, el valor de la modulación que se está utilizando en todo momento.

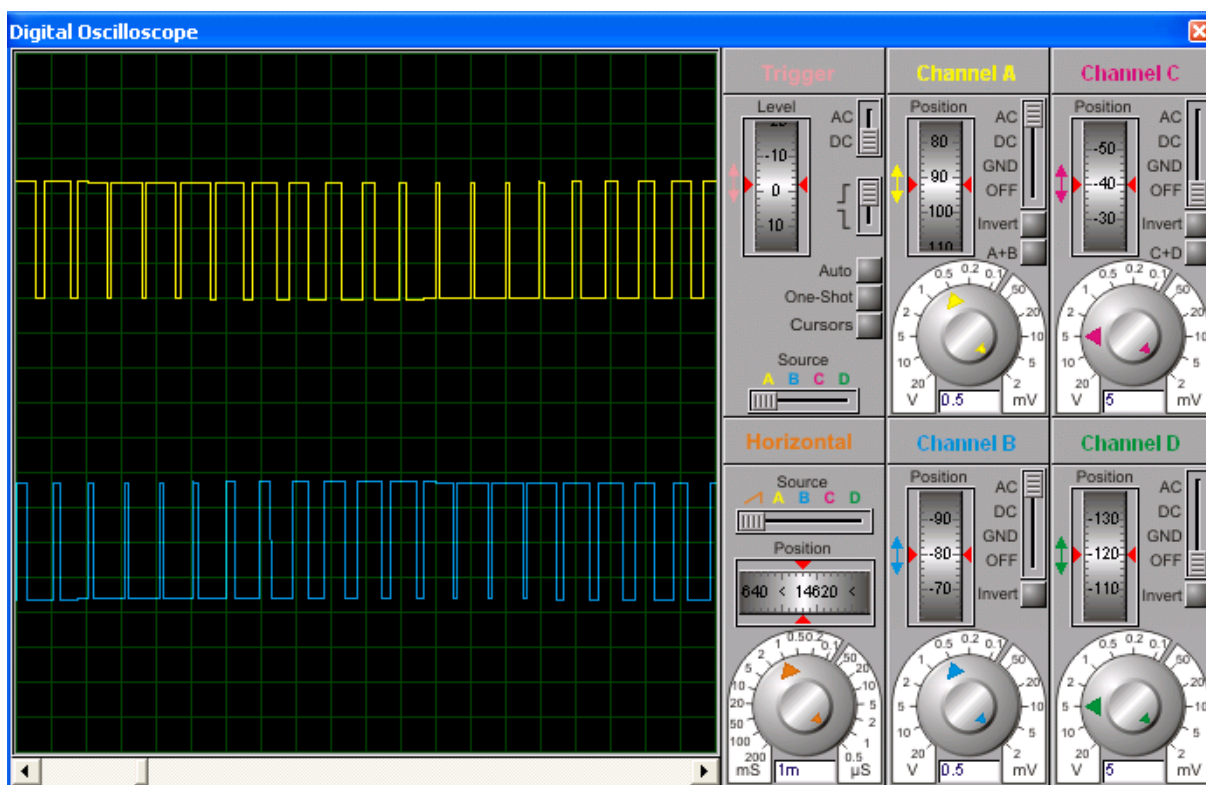


**Figura 29.** Ejemplo LCD en funcionamiento

### 11.2.2. Simulación de las señales de control

El simulador proteus incorpora osciloscopios en sus librerías, para poder ver las señales de salida que se están generando.

Con la figura 30 se puede observar la señal que generan los controles mediante el pic. Estas se comparan con las que se habían generado con psim, así se observa el error cometido.

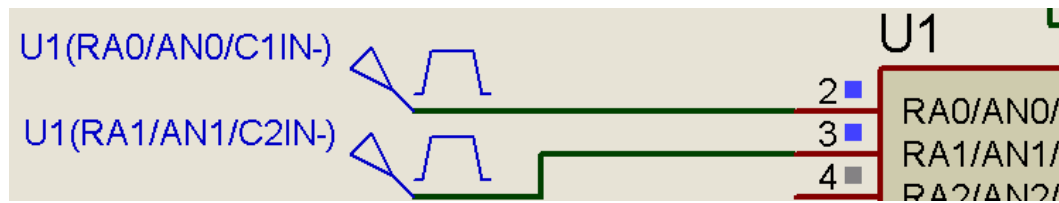


**Figura 6.** Visualización de las señales de control en el osciloscopio de proteus

### 11.2.3. Simulación de las entradas; convertidor analógico-digital e interruptor de paro de emergencia

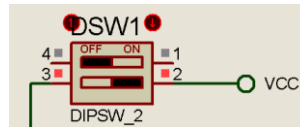
Para observar el funcionamiento correcto de los convertidores, se varían las tensiones en la entrada de los diversos convertidores que se utilizan, obteniendo diversos valores, los cuales se sacan por pantalla o por un puerto, comprobando así su correcto funcionamiento.

En la figura 31 se puede ver el sistema para aplicar distintas tensiones en los convertidores deseados.



**Figura 31.** Aplicación de tensión en los convertidores

Para la simulación del paro de emergencia se ha colocado un simple interruptor con el que modificando su posición de ON a OFF, se da paro o marcha al circuito a través de la entrada de un puerto.



**Figura 32.** Simulador de paro de emergencia

# CAPÍTULO 12:

## PROTOTIPO

El prototipo, se centra en un circuito escalado al modelo real. Esto quiere decir, que está diseñado para una producción de una potencia menor, por lo tanto la potencia está escalada para una intensidad de 1 Amperio en la entrada y el programa trabaja con variables distintas, puesto que la tensión y la corriente son menores.

El prototipo sobretodo sirve para hacerse una idea del diseño del inversor. A medida que el prototipo va cogiendo forma, se van encontrando los posibles errores y las soluciones que se deben adoptar para que el circuito funcione correctamente. Por lo tanto, gracias a los fallos cometidos en la elaboración del prototipo, se pueden saber los fallos que se pueden cometer en el real. Se puede decir, que el diseño del circuito real viene del prototipo y no a la inversa.

Al ser un prototipo, tiene las mismas partes básicas que el circuito real, por lo tanto, se divide en dos partes fundamentales, la parte de potencia y la parte de control. Lo único que se tiene que hacer, es substituir los componentes para una potencia más pequeña y adecuar el programa para las nuevas variables.

### 12.1. Modificaciones en el circuito y en el programa

Como se ha dicho en la introducción, esta parte está escalada respecto al circuito principal.

Variaciones y cálculos de los componentes para el circuito del prototipo:

Elección IGBT:

El circuito está diseñado para un consumo de 1 A en la entrada, al pasar por el transformador esta corriente se transforma inversamente proporcional a la tensión, por lo tanto hace de reductor y la corriente se queda en 100 mA aproximadamente. Como se observa no hay ningún problema en la corriente en

los IGBT, puesto que estos aguantan mucha más corriente. Se ha escogido el **IRF540**, capaz de soportar una corriente de 22 Amperios.

Elección del transformador:

El transformador se ha escogido de 24/220, no se ha visto necesario la construcción para la salida exacta de 230 voltios, ya que no es la parte más importante. Para poder sacar 230 voltios en la salida, se tendría que utilizar un transformador con una amplificación de 17, como el que se tiene es un transformador de 24/220, la tensión en la salida es de 120 para una modulación del 80%, modulación utilizada en vacío.

Cálculos de la tensión de salida:

$$V_s = \frac{24}{\sqrt{2}} \cdot 0.8 \cdot \frac{220}{24} = 124,45$$

Si se tienen en cuenta las pérdidas en el hierro del transformador, esta tensión nos llega a un valor de "110" voltios aproximadamente.

Modificaciones en la realimentación:

Para la realimentación de tensión se utiliza el mismo sistema con el transformador y el puente de diodos con condensador, modificando solamente, el divisor de tensión para que dé un valor de unos 3 voltios para una tensión de salida de 110 voltios.

Para la realimentación de corriente se utiliza el CTL-6-S con una resistencia en la salida de 1kΩ, en este caso se tiene que el valor de la tensión en la salida, es proporcional a la corriente que pasa por él. Como esta corriente es de cómo mucho 100 mA, se coloca un amplificador en la salida que da en la entrada del inversor unos 3 voltios para los 100 mA.

Modificaciones del programa:

Con el valor de la tensión en la salida y la corriente que puede llegar como máximo, ya se puede hacer el programa con los valores para el prototipo.

El programa consiste en los mismos valores que el programa real, pero cambiando los rangos de tensión y corriente.

Para la tensión se ponen rangos para que varíe de 105-115 y en caso de disminuir de 95 o subir de 125, se desconectaría el programa hasta nueva señal de reset.

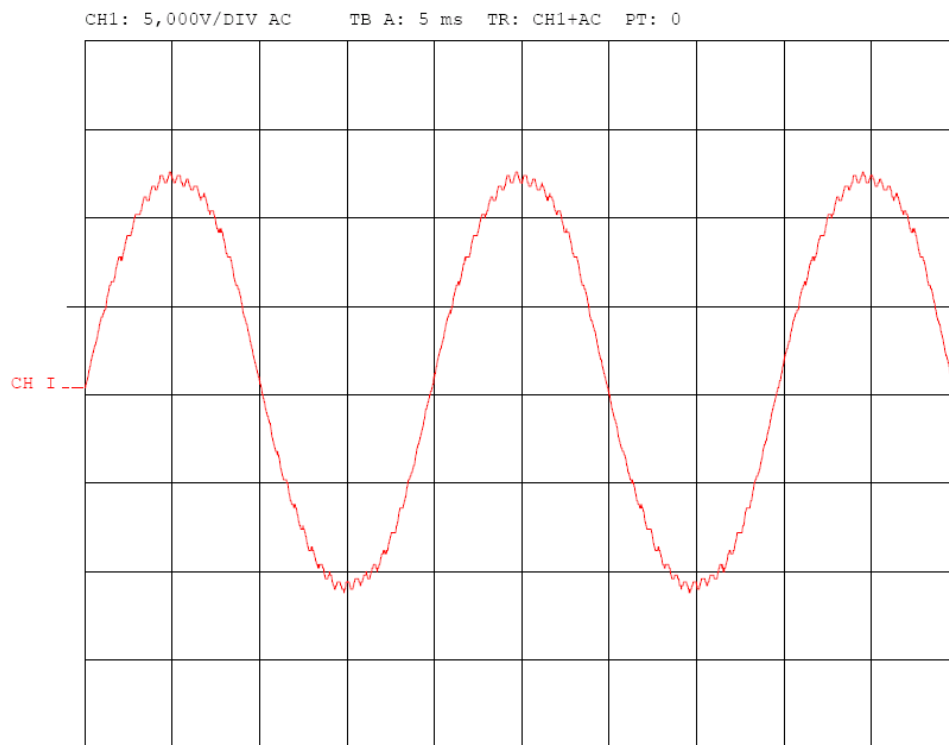
Para la corriente en caso de que la carga consumiera más de 100 mA, el programa también se desconectaría hasta nueva señal de reset.

## 12.2. Capturas reales con el prototipo

Una vez se han hecho los cálculos pertinentes y se ha montado el circuito físicamente, se hacen las comprobaciones en el laboratorio mediante un osciloscopio con una sonda atenuador para la tensión en alterna, se conecta al

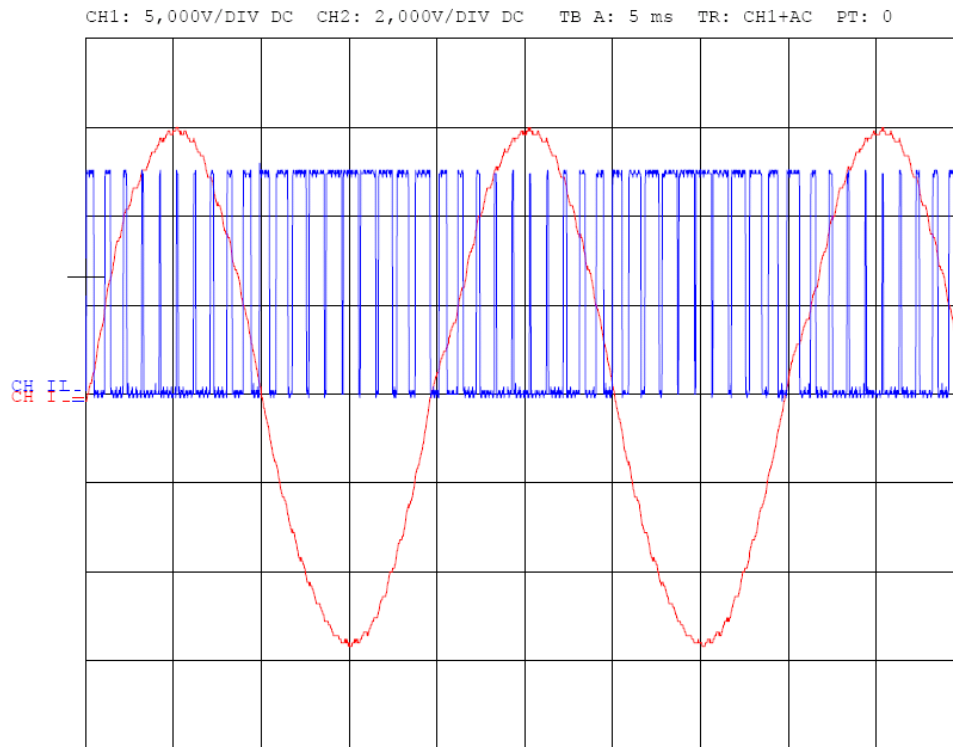
pc, para coger las lecturas con distintas modulaciones de amplitud y visualizando las señales de control pertinentes.

Señales obtenidas mediante el osciloscopio:



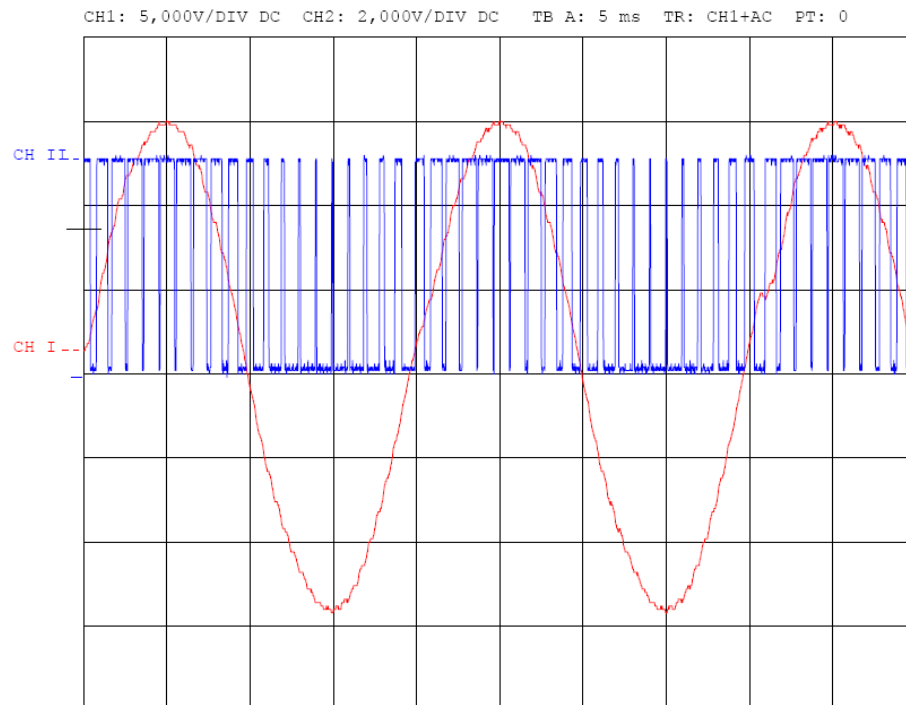
**Figura 33.** *Captura senoide de modulación 0,6*

En la figura anterior, se observa la obtención de la señal de salida, una señal sinusoidal con una modulación de 0,6, una frecuencia de 50Hz y una amplitud de 120 voltios de pico. Esta amplitud es de 120, puesto que la sonda atenuadora divide por un factor de 10.



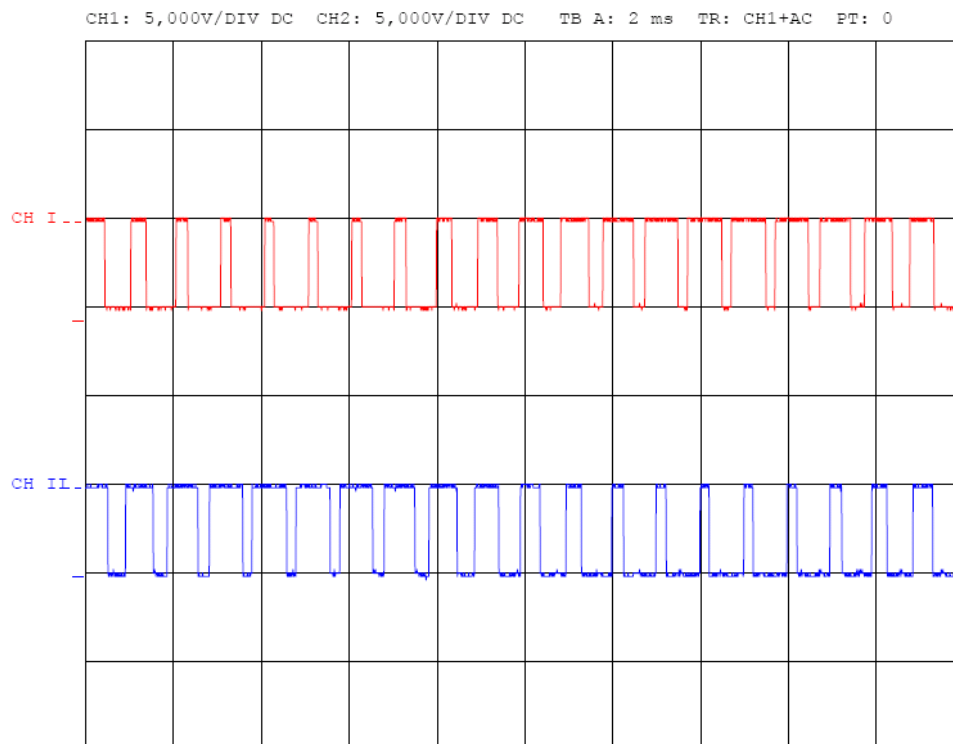
**Figura 34.** Captura senoide de modulación 0,85 más señal de control  
1

En la figura anterior se muestra la señal sinusoidal, con carga, con una modulación de 0,85, una frecuencia de 50Hz y una amplitud de 150 voltios de pico. En este momento está trabajando el programa con autorregulación, por este motivo ha variado la modulación, si se calcula, da una tensión de 106 voltios eficaces, un valor aproximado a los 110, tensión a la que trabaja el prototipo. A parte de la señal sinusoidal, también se muestra una de las señales de control. Si se observa al detalle, se puede ver cómo trabaja con una frecuencia de 50 Hz la señal al completo, aunque la señal por puntos tiene una frecuencia de 1000Hz. En la próxima figura se observa la misma sinusoidal con la otra señal de control.



**Figura 35.** Captura sinusoide de modulación 0,85 más señal de control  
2

En la siguiente figura, se observan las dos señales de control por separado, el tiempo está en 2 ms. Si se observa con atención, se ve como dos ciclos ocupan un recuadro, por lo tanto cada ciclo es de 1ms y en consiguiente, haciendo la inversa del tiempo, se tiene una frecuencia de 1000Hz.



**Figura 36.** Captura de las dos señales de contro.



# **CAPÍTULO 13:**

# **COMUNICACIÓN**

Como ampliación del inversor, se puede realizar una comunicación entre el microcontrolador y un PC. De tal manera que se puedan recibir y transmitir datos entre ambos.

Al realizar ésta comunicación facilita mucho el control del inversor y del sistema energético, con la posibilidad de poder crear tablas con valores de la tensión y corriente de carga, y así de esta manera conocer consumos durante un tiempo especificado. Además de estas ventajas también se añade la ventaja de poder controlar el sistema a distancia y en tiempo real.

Si se utiliza éste tipo de ampliación, se tendría un control total del inversor y de los consumos, así como una interface con el usuario cómoda de usar y con muchas ventajas.

## **13.1. Comunicación RS-232**

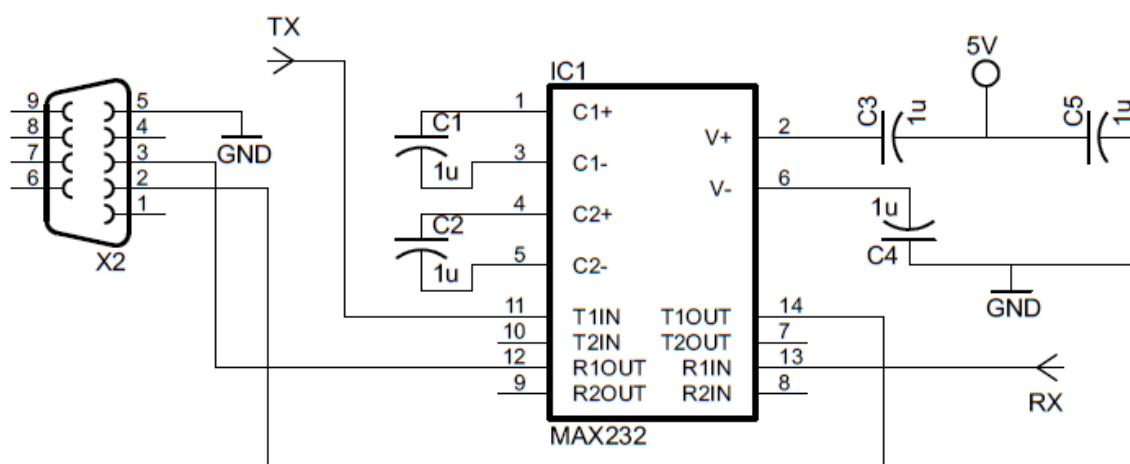
Entre los diferentes tipos de comunicación se ha escogido la comunicación RS-232 por su eficiencia. Éste tipo de comunicación es de tipo serial, es decir los bits se transmiten de uno en uno.

Para el uso de este tipo de comunicación se ha escogido el PIC18F2420 con éste tipo de comunicación, del cual disponemos los pins 18 y 17, recepción de datos (RX) y transmisión de datos (TX) respectivamente.

En la programación del microcontrolador, se ha de respetar los comandos de transmisión y recepción de datos, y así poder recibir y transmitir los datos que nos interesan.

En ésta transmisión de datos, se necesita la utilización del driver MAX232, el cual es un driver dual de transmisión y recepción de datos que incluye un generador

de voltaje capacitivo para poder suplir los niveles de voltaje de una fuente normal de 5v. En la figura 37 se muestra el montaje a realizar para efectuar éste tipo de comunicación.



**Figura 37.** Comunicación RS-232.

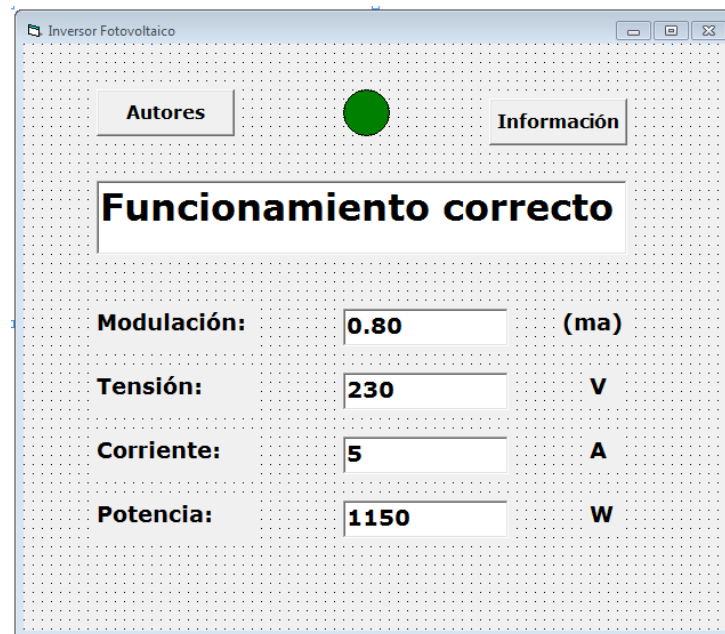
## 13.2. Interface de usuario

La interfaz de usuario, se diseña de forma que el usuario del inversor fotovoltaico pueda interactuar de una forma sencilla y cómoda.

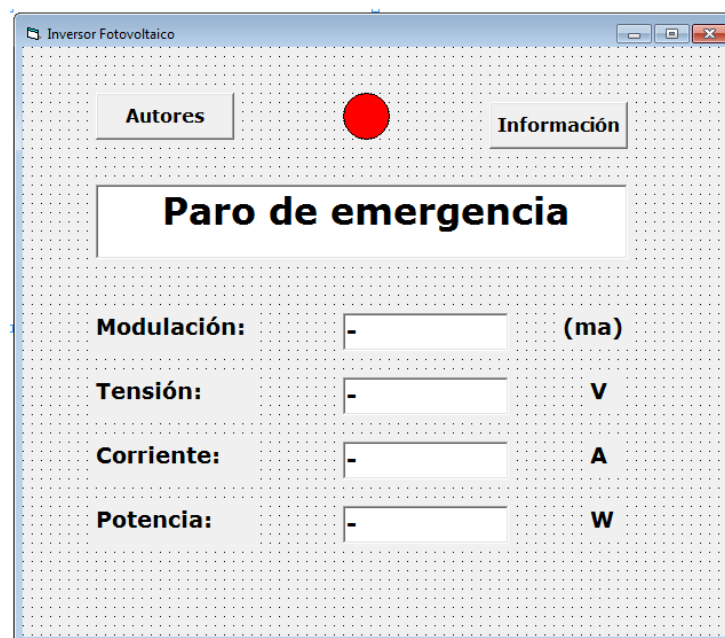
La interfaz puede ser diseñada por el usuario a su conveniencia, aunque se recomienda utilizar el programa Visual Basic, ya que ofrece un amplio abanico de funciones.

El principal objetivo a conseguir en la interface es que sea simple y fácil de usar, diseñándolo de forma gráfica e intuitiva con indicativos claros y fáciles de interpretar.

La propuesta de interface que proponemos (figura 38 y 39) es detallada a continuación.



**Figura 38.** Interface de usuario (Funcionamiento correcto).



**Figura 39.** Interface de usuario (Paro de emergencia).

- Indicación por color del funcionamiento del inversor fotovoltaico. (Verde= Correcto, Rojo=Paro de emergencia).
- Botón que muestra la información de los autores.
- Botón que muestra la información del inversor.

- Indicador de lectura que muestra por escrito el estado del inversor fotovoltaico.
- Indicadores de lectura que muestran los valores de la modulación, tensión, corriente y potencia.

Este tipo de interface diseñada con Visual Basic, muestra sólo datos recibidos de microcontrolador así como su estado. También se podrían enviar ordenes o datos al microcontrolador.

# **CAPÍTULO 14:**

## **NORMATIVA**

Para poder hacer un proyecto dentro del marco legal, se ha seguido la normativa existente.

La normativa aplicable a las instalaciones solares fotovoltaicas es la siguiente:

- Ley 54/1997 de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, así como sus instrucciones complementarias. Puesto que nuestro sistema proporciona una tensión de 230V monofásica y no es superior a una intensidad de 25A por fase.
- Orden del 6 de Julio de 1984 (BOE del 1 de Agosto de 1984), por el que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- Orden de 18 de Octubre de 1984 (BOE de 25 de Octubre de 1984), complementaria a la anterior.

- Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre por el cual se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 2366/1994 de 9 de Diciembre sobre producción de energía eléctrica para las instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables. (BOE de 31 de Diciembre de 1994).
- Real Decreto 436/2004 de 27 de marzo, sobre producción de energía eléctrica para instalaciones alimentadas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos o cogeneración.
- Real Decreto 1663/2000 de 29 de Septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- Real Decreto en el que se establece la tarifa eléctrica para ese año.
- Condiciones Técnicas que han de cumplir las instalaciones fotovoltaicas para su conexión a la red de Iberdrola.
- Pliego de condiciones técnicas para instalaciones conectadas a la red, exigido en el marco de las Líneas de ayuda para la promoción de instalaciones de energía solar fotovoltaica en el ámbito del Plan de Fomento de Energías Renovables, publicado por el IDAE para la convocatoria correspondiente al ejercicio.

La Normativa aplicable a las instalaciones eólicas es la siguiente:

- La Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, sirve para la evaluación de impacto ambiental de una instalación eólica doméstica.

A parte de esta también se ha utilizado la del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, y algunas otras especificadas en el apartado anterior, puesto que casi todas tratan la electricidad

Normativa solar térmica:

- Se ha utilizado el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Complementarias (ITE)
- También se ha utilizado la Ordenanza General de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Tarragona, puesto que es en la provincia donde está ubicada la vivienda.
- Se ha utilizado la normativa establecida por el ACA, para el tratamiento del agua sanitaria.

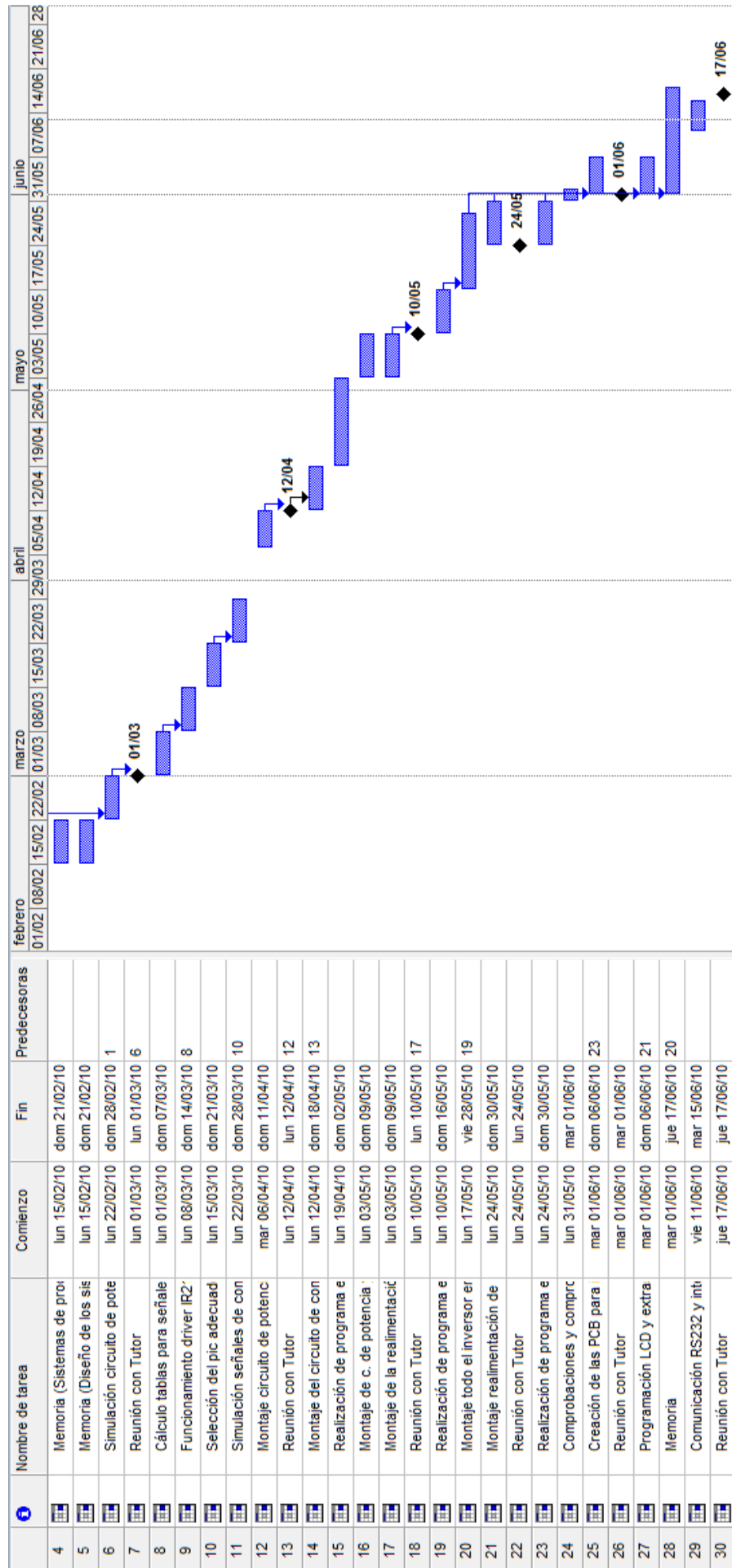
# **CAPÍTULO 15:**

# **PLANIFICACIÓN Y**

# **DIAGRAMA DE GANTT**

A continuación se muestra en formato de diagrama de Gantt la planificación seguida para el desarrollo del proyecto. Incluyendo la memoria realizada, y el diseño y construcción del prototipo del inversor fotovoltaico.





# CAPÍTULO 16:

# BIBLIOGRAFÍA

## 16.1. Libros y artículos

MOHAN, Ned. *Power Electronics: converters, applications, and design*. New York: John Wiley & Sons, 1995. ISBN 0471613428.

RASHID, Muhammad H. *Electrónica de potencia : circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Traducción de la obra inglesa: *Power Electronics: converters, applications, and design*. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1995. ISBN 9688805866

KASSAKIAN, J.G., SCHLECHT, M.F. & VERGHESE, G.C. *Principles of power electronics*. Reading, Mass. : Addison-Wesley, 1992 . ISBN 0201096897

## 16.2. Enlaces de interés

[http://www.soliclima.com/instalaciones\\_aisladas.html](http://www.soliclima.com/instalaciones_aisladas.html)

<http://www.casasecologicas.net/vivirencasasana/index.php?index=23>

<http://www.tiendasolartermica.com/>

<http://www.suelosolar.es/guiasolares/electrificacion.asp>

[http://www.repoweringsolutions.com/productos/aerogeneradores\\_domesticos/index.htm](http://www.repoweringsolutions.com/productos/aerogeneradores_domesticos/index.htm)

<http://www.terra.org/articulos/art01822.html>

[http://www.soliclima.com/agua\\_caliente.html](http://www.soliclima.com/agua_caliente.html)

<http://www.stecasolar.com>

<http://www.microchip.com>