

## 5 Diseño del Hardware

En este capítulo se procede a describir la realización física de la tarjeta que actuará como interfaz de comunicaciones entre el módem GSM y el PLC.

### 5.1 Alimentación

Tenemos un circuito en el que debemos integrar un microcontrolador ATmega128 más la electrónica necesaria para hacerlo funcionar y los dispositivos requeridos para instalar dos puertos serie, lo cual se puede lograr con un integrado MAX233. Ambos dispositivos pueden alimentarse con 5V por lo que una opción sería comprar un adaptador de 230V AC a 5V DC y conectar nuestro circuito a cualquier toma de corriente de pared. Pero además disponemos de un módem GSM que, aunque tiene una tensión de alimentación nominal de 3.3V DC, va montado sobre una placa adaptadora cuyo distribuidor recomienda alimentar a 12V DC, necesitaríamos por tanto dos adaptadores de pared o alguna solución más compleja que nos facilite ambas tensiones desde 230V AC. Estas soluciones son voluminosas y caras, además, estos adaptadores no suelen tener una característica de salida demasiado fiable por lo que pudiera ser necesario además incorporar algún regulador de tensión en la placa.

Para obviar estos inconvenientes, se propone como solución partir de la fuente de alimentación de que dispone el PLC Siemens S7-200, que provee de una tensión de salida de 24V DC y nos suministra un máximo de 1.3 amperios de corriente, con la ventaja adicional de poder disponer elegida esta opción de una fuente que, además de suministrar tensión continua, es tremendamente estable.

Es por esto por lo que se eligió hacer un montaje de alimentación en cascada que se detalla en la Figura 5.1, de los 24V DC suministrados por la fuente del microPLC, pasamos a 12V DC con un convertidor conmutado LM2596T-12 de National Semiconductors que nos sirve como base para alimentar a la placa adaptadora del módem y a la siguiente etapa, consistente en un adaptador LT1085CT-5 de Linear Technologies que suministra 5V DC de salida, siendo por tanto adecuado para alimentar al microcontrolador y la electrónica basada en niveles de tensión TTL asociada tanto a él como a las comunicaciones. A continuación se detallaran estos pasos más pormenorizadamente.

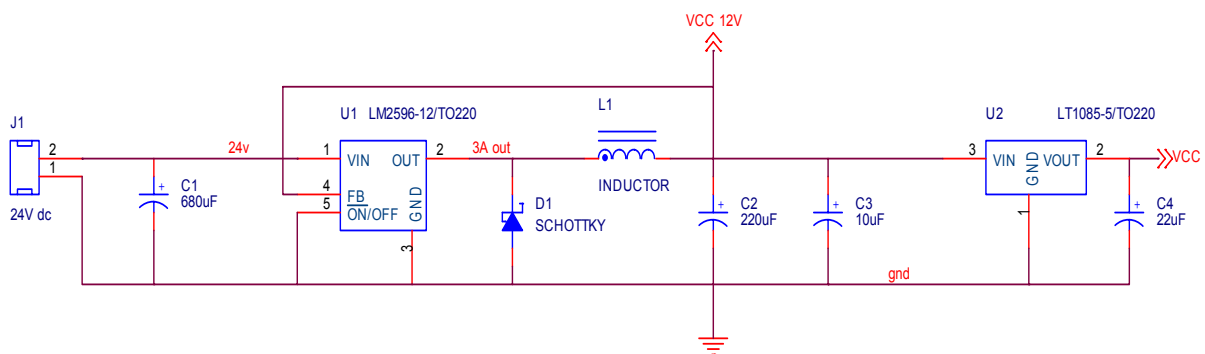
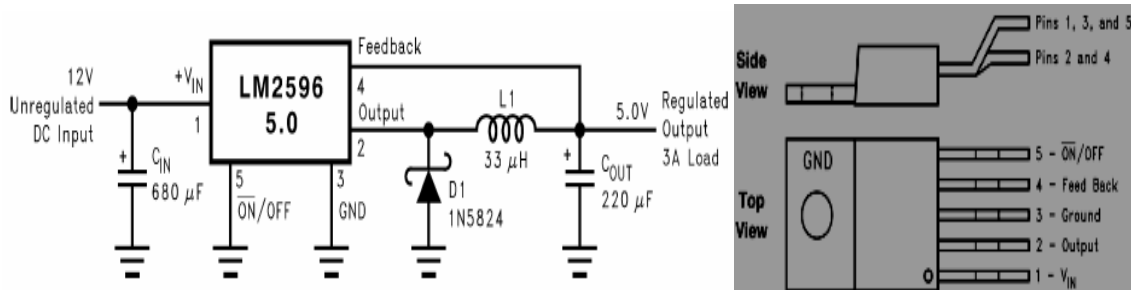


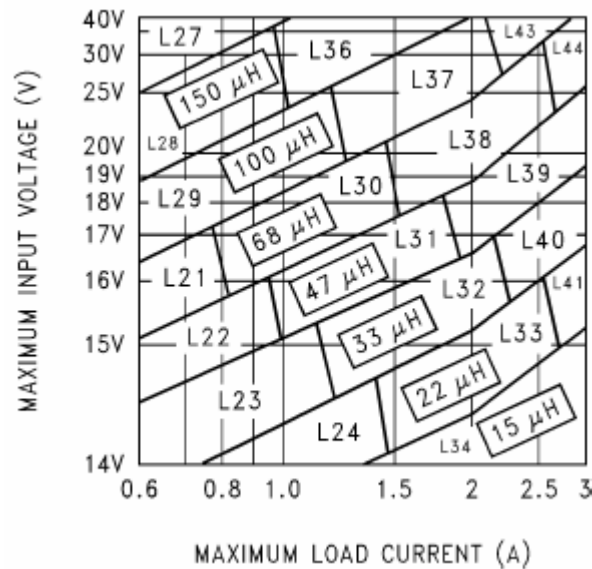
Figura 5.1 *Circuito de alimentación*

Para la primera etapa, nos fijamos en el montaje de referencia que nos ofrece el fabricante del LM2596 que mostramos en la Figura 5.2, y observamos que está lejos de cumplir con el propósito que deseamos. Sin embargo, a lo largo del datasheet del dispositivo observamos cuáles son las modificaciones necesarias para que cumpla su misión.



**Figura 5.2** Esquema de montaje típico del LM2596

Para la elección del inductor L1, nos remiten a la tabla de la Tabla 5.1, para una salida de 12 V, una entrada de 24 V y una intensidad de carga algo menor de 3 amperios, debemos seleccionar el inductor L44. El criterio de selección de 3 amperios como máximo de corriente viene del hecho de que el dispositivo de mayor consumo será el módem, capaz de consumir hasta 2.0 amperios de pico, sin embargo, el consumo del resto de los integrados podemos asegurar sin riesgo de incertidumbre que será despreciable frente a esta cantidad.



**Tabla 5.1** Tabla de selección de la bobina L1

Para saber los valores recomendados para L44, acudimos a la Tabla 5.2 y descubrimos que lo más adecuado es un inductor de 68 µH de inductancia y capaz de soportar 3.40 amperios. En nuestro caso no fue posible encontrar ningún distribuidor local que suministrase alguna de las bobinas recomendadas y adquirimos una del fabricante Newport Components que aparece en la Tabla 5.3 con la referencia 1468362.

|     | Inductance<br>( $\mu$ H) | Current<br>(A) | Schott          |                  | Renco           |                  | Pulse Engineering |                  | Coilcraft        |
|-----|--------------------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
|     |                          |                | Through<br>Hole | Surface<br>Mount | Through<br>Hole | Surface<br>Mount | Through<br>Hole   | Surface<br>Mount | Surface<br>Mount |
| L15 | 22                       | 0.99           | 67148350        | 67148460         | RL-1284-22-43   | RL1500-22        | PE-53815          | PE-53815-S       | DO3308-223       |
| L21 | 68                       | 0.99           | 67144070        | 67144450         | RL-5471-5       | RL1500-68        | PE-53821          | PE-53821-S       | DO3316-683       |
| L22 | 47                       | 1.17           | 67144080        | 67144460         | RL-5471-6       | —                | PE-53822          | PE-53822-S       | DO3316-473       |
| L23 | 33                       | 1.40           | 67144090        | 67144470         | RL-5471-7       | —                | PE-53823          | PE-53823-S       | DO3316-333       |
| L24 | 22                       | 1.70           | 67148370        | 67148480         | RL-1283-22-43   | —                | PE-53824          | PE-53825-S       | DO3316-223       |
| L25 | 15                       | 2.10           | 67148380        | 67148490         | RL-1283-15-43   | —                | PE-53825          | PE-53824-S       | DO3316-153       |
| L26 | 330                      | 0.80           | 67144100        | 67144480         | RL-5471-1       | —                | PE-53826          | PE-53826-S       | DO5022P-334      |
| L27 | 220                      | 1.00           | 67144110        | 67144490         | RL-5471-2       | —                | PE-53827          | PE-53827-S       | DO5022P-224      |
| L28 | 150                      | 1.20           | 67144120        | 67144500         | RL-5471-3       | —                | PE-53828          | PE-53828-S       | DO5022P-154      |
| L29 | 100                      | 1.47           | 67144130        | 67144510         | RL-5471-4       | —                | PE-53829          | PE-53829-S       | DO5022P-104      |
| L30 | 68                       | 1.78           | 67144140        | 67144520         | RL-5471-5       | —                | PE-53830          | PE-53830-S       | DO5022P-683      |
| L31 | 47                       | 2.20           | 67144150        | 67144530         | RL-5471-6       | —                | PE-53831          | PE-53831-S       | DO5022P-473      |
| L32 | 33                       | 2.50           | 67144160        | 67144540         | RL-5471-7       | —                | PE-53932          | PE-53932-S       | DO5022P-333      |
| L33 | 22                       | 3.10           | 67148390        | 67148500         | RL-1283-22-43   | —                | PE-53933          | PE-53933-S       | DO5022P-223      |
| L34 | 15                       | 3.40           | 67148400        | 67148790         | RL-1283-15-43   | —                | PE-53934          | PE-53934-S       | DO5022P-153      |
| L35 | 220                      | 1.70           | 67144170        | —                | RL-5473-1       | —                | PE-53935          | PE-53935-S       | —                |
| L36 | 150                      | 2.10           | 67144180        | —                | RL-5473-4       | —                | PE-54036          | PE-54036-S       | —                |
| L37 | 100                      | 2.50           | 67144190        | —                | RL-5472-1       | —                | PE-54037          | PE-54037-S       | —                |
| L38 | 68                       | 3.10           | 67144200        | —                | RL-5472-2       | —                | PE-54038          | PE-54038-S       | —                |
| L39 | 47                       | 3.50           | 67144210        | —                | RL-5472-3       | —                | PE-54039          | PE-54039-S       | —                |
| L40 | 33                       | 3.50           | 67144220        | 67148290         | RL-5472-4       | —                | PE-54040          | PE-54040-S       | —                |
| L41 | 22                       | 3.50           | 67144230        | 67148300         | RL-5472-5       | —                | PE-54041          | PE-54041-S       | —                |
| L42 | 150                      | 2.70           | 67148410        | —                | RL-5473-4       | —                | PE-54042          | PE-54042-S       | —                |
| L43 | 100                      | 3.40           | 67144240        | —                | RL-5473-2       | —                | PE-54043          |                  | —                |
| L44 | 68                       | 3.40           | 67144250        | —                | RL-5473-3       | —                | PE-54044          |                  | —                |

**Tabla 5.2** *Tabla de selección de la bobina L44*

| Part<br>Number | Inductance<br>( $\pm 10\%$ )<br>(at 1kHz)<br>$\mu$ H | R <sub>DC</sub><br>(max.)<br>$\Omega$ | I <sub>DC</sub><br>cont.<br>A | Temp<br>rise<br>(at IDC)<br>$^{\circ}$ C | Nominal Q<br>at<br>f kHz |     | Nominal<br>Self Resonant<br>Frequency<br>MHz |
|----------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|--|--------------------------|-----|--|
|                |  |                                       |                               |  | Q                        | f   |  |
| 14 103 13      | 10   | 0.007                                 | 13                            | 20                                       | 54                       | 50  | 20.7   |
| 14 153 12      | 15   | 0.009                                 | 12                            | 25                                       | 42                       | 50  | 12.7   |
| 14 223 11      | 22   | 0.011                                 | 11                            | 27                                       | 64                       | 100 | 9.3  |
| 14 333 93      | 33   | 0.015                                 | 9.3                           | 25                                       | 27                       | 50  | 9.1  |
| 14 473 83      | 47   | 0.019                                 | 8.3                           | 25                                       | 40                       | 100 | 6.0  |
| 14 473 85      | 47   | 0.021                                 | 8.5                           | 26                                       | 33                       | 100 | 6.7  |
| 14 683 62      | 68   | 0.032                                 | 6.2                           | 27                                       | 32                       | 100 | 5.3  |
| 14 683 73      | 68   | 0.022                                 | 7.3                           | 27                                       | 45                       | 100 | 5.3  |
| 14 104 54      | 100  | 0.042                                 | 5.4                           | 27                                       | 24                       | 100 | 4.6  |
| 14 104 60      | 100  | 0.033                                 | 6.0                           | 29                                       | 37                       | 100 | 3.9  |
| 14 104 78      | 100  | 0.040                                 | 7.8                           | 28                                       | 34                       | 50  | 3.3  |

**Tabla 5.3** *Tabla de selección de inductores de Newport Components*

Para elegir el diodo D1, nos indican que debería ser de tipo Schottky por su gran velocidad de conmutación y soportar una intensidad máxima superior a 1.3 veces la intensidad máxima de salida y una tensión inversa máxima superior a 1.25 veces el máximo de la tensión de entrada, tenemos pues unas especificaciones de ~4A y 30V que deben ser llevadas según el fabricante a la Tabla 5.4. De los dos diodos posibles elegimos el SR503 por ser el único que se pudo encontrar. Sus especificaciones principales se indican en la Figura 5.4.

| VR   | 3A Diodes     |  |              |  | 4A-6A Diodes  |  |              |  |
|------|---------------|--|--------------|--|---------------|--|--------------|--|
|      | Surface Mount |  | Through Hole |  | Surface Mount |  | Through Hole |  |
|      | Schottky      | Ultra Fast Recovery                            | Schottky     | Ultra Fast Recovery                            | Schottky      | Ultra Fast Recovery                            | Schottky     | Ultra Fast Recovery                            |
| 20V  |               | All of these diodes are rated to at least 50V. | 1N5820       | All of these diodes are rated to at least 50V. |               | All of these diodes are rated to at least 50V. | SR502        | All of these diodes are rated to at least 50V. |
|      | SK32          |  | SR302        |  |               |  | 1N5823       |  |
|      |               |  | MBR320       |  |               |  | SB520        |  |
| 30V  | 30WQ03        | rated to at least 50V.                         | 1N5821       | rated to at least 50V.                         |               | rated to at least 50V.                         |              | rated to at least 50V.                         |
|      | SK33          |  | MBR330       |  | 50WQ03        |  | SR503        |  |
|      |               |  | 31DQ03       |  |               |  | 1N5824       |  |
| 40V  |               | MURS320  | 1N5822       | MUR320   |               | MURS620  | SB530        | MUR620   |
|      | SK34          |  | SR304        |  | 50WQ04        |  | SR504        |  |
|      | MBRS340       |  | MBR340       |  |               |  | 1N5825       |  |
| 50V  | 30WQ04        | 30WF10   | 31DQ04       |  |               | 50WF10   | SB540        | HER601   |
|      | SK35          |  | SR305        |  |               |  |              |  |
|      | MBRS360       |  | MBR350       |  | 50WQ05        |  | SB550        |  |
| More | 30WQ05        |  | 31DQ05       |  |               |  | 50SQ080      |  |

Tabla 5.4 Tabla de selección de diodos

Para la selección de capacidades de entrada y salida se recomienda en ambos casos que sean capaz de soportar 1.5 veces la tensión de trabajo y que tengan una capacidad de 220 µF de salida y entre 82 y 820 µF de entrada, tomándose 680 µF.

La segunda etapa es mucho más simple, mostrándose a continuación en la Figura 5.3 el esquema de montaje que propone el fabricante.

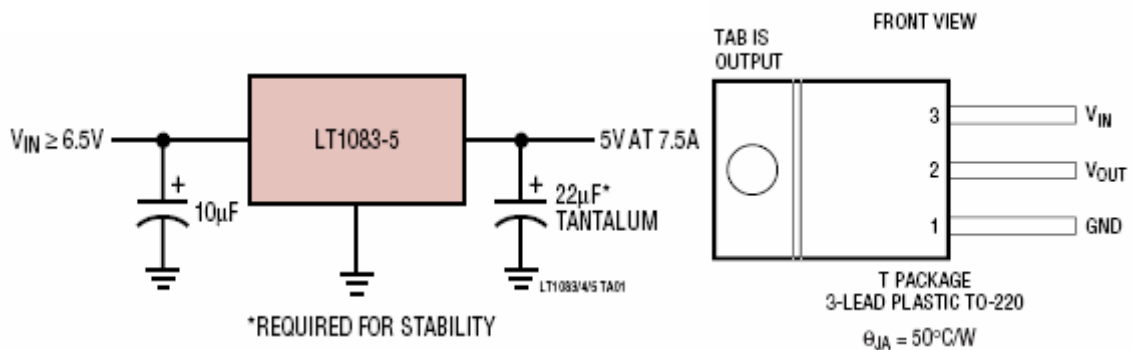


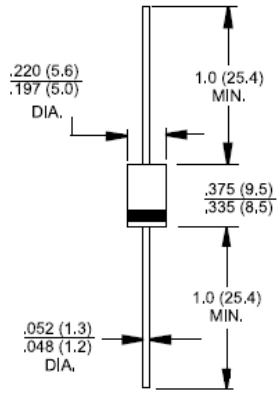


Figura 5.3 Esquema propuesto para el adaptador LT1085

|  <b>SR502 THRU SR510</b><br>5.0 AMPS. Schottky Barrier Rectifiers   |  |       |  |             |  |     |      |    |
|--|--|-------|--|-------------|--|-----|------|----|
|   | Voltage Range<br>20 to 100 Volts<br>Current<br>5.0 Amperes   |       |  |             |  |     |      |    |
| <b>Features</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✧ Low forward voltage drop</li> <li>✧ High current capability</li> <li>✧ High reliability</li> <li>✧ High surge current capability</li> </ul>   | <b>DO-201AD</b>  |       |  |             |  |     |      |    |
| <b>Mechanical Data</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>✧ Cases: DO-201AD molded plastic</li> <li>✧ Epoxy: UL 94V-O rate flame retardant</li> <li>✧ Lead: Axial leads, solderable per MIL-STD-202, Method 208 guaranteed</li> <li>✧ Polarity: Color band denotes cathode end</li> <li>✧ High temperature soldering guaranteed: 250°C/10 seconds/.375", (9.5mm) lead lengths at 5 lbs., (2.3kg) tension</li> <li>✧ Weight: 1.1 grams</li> </ul> | Dimensions in inches and (millimeters)   |       |  |             |  |     |      |    |
| <b>Maximum Ratings and Electrical Characteristics</b><br>Rating at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.<br>Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.<br>For capacitive load, derate current by 20%  |  |       |  |             |  |     |      |    |
| <b>Type Number</b>   | <b>SR 502</b> <b>SR 503</b> <b>SR 504</b> <b>SR 505</b> <b>SR 506</b> <b>SR 509</b> <b>SR 510</b>  | Units |  |             |  |     |      |    |
| Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage   | 20   30   40   50   60   90   100  | V     |  |             |  |     |      |    |
| Maximum RMS Voltage  | 14   21   28   35   42   63   70   | V     |  |             |  |     |      |    |
| Maximum DC Blocking Voltage  | 20   30   40   50   60   90   100  | V     |  |             |  |     |      |    |
| Maximum Average Forward Rectified Current<br>See Fig. 1  | 5.0  |       |  |             |  |     | A    |    |
| Peak Forward Surge Current, 8.3 ms Single Half Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)   |  |       |  | 150         |  | 200 |      | A  |
| Maximum Instantaneous Forward Voltage @5.0A  | 0.55   |       |  | 0.70        |  | 0.8 |      | V  |
| Maximum D.C. Reverse Current<br>at Rated DC Blocking Voltage   | @ T <sub>a</sub> =25°C   |       |  | 0.5         |  | 0.2 |      | mA |
|  | @ T <sub>a</sub> =100°C  |       |  | 50          |  | 10  |      | mA |
| Typical Thermal Resistance (Note 1) R $\theta$ JA  | 15   |       |  | 10          |  |     | °C/W |    |
| Typical Junction Capacitance (Note 2)  | 500  |       |  | 380         |  | 112 |      | pF |
| Operating Junction Temperature Range T <sub>J</sub>  | -65 to +125  |       |  | -65 to +150 |  |     | °C   |    |
| Storage Temperature Range T <sub>STG</sub>   | -65 to +150  |       |  |             |  |     | °C   |    |

Notes: 1. Thermal Resistance from Junction to Ambient Vertical P.C. Board Mounting, 0.375" (9.5mm) Lead Length  
 2. Measured at 1 MHz and Applied Reverse Voltage of 4.0V D.C.

**Figura 5.4**      *Características del diodo SR503*

## 5.2 Circuito de reset del módem

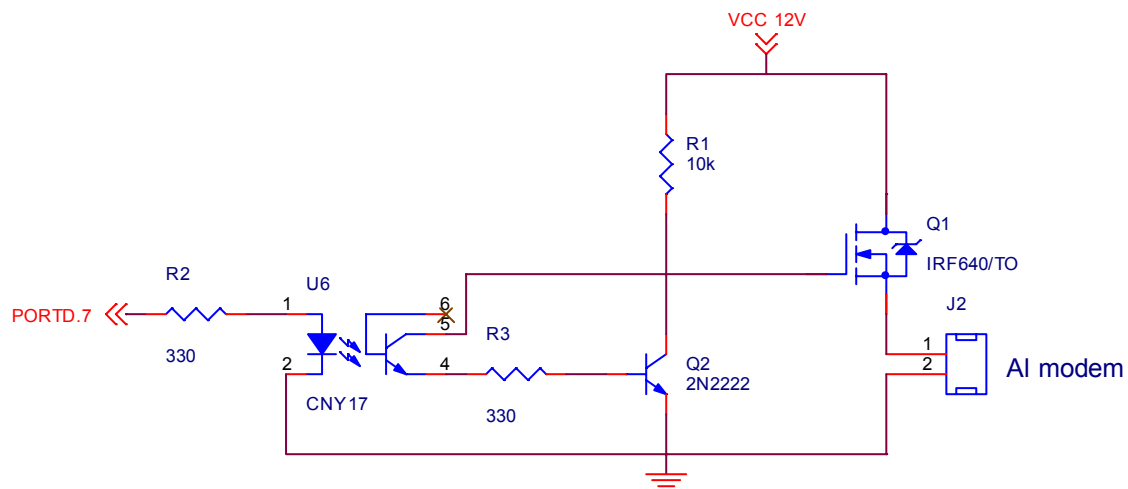
El módem utilizado dispone de reset hardware, pero al ir montado sobre una placa adaptadora que sólo dispone de un interfaz RS-232 DB9, se pierde dicha funcionalidad y no es posible reiniciar el módem si se entra en un ciclo bloqueante o, simplemente en caso de que se pierda el control de él y no se sepa cómo actuar. El

dispositivo dispone de la instrucción software AT+CPWROFF que introduce al módem en un modo de bajo consumo previo a su apagado final (el fabricante recomienda encarecidamente no apagar el módem sin pasar antes por este modo). El problema es que no existe la instrucción inversa, es decir, que pase al módem de idle mode a modo activo, por tanto, la única forma de reiniciarlo es apagarlo y volverlo a encender.

Para permitir esta operación sin intervención humana se ha diseñado un interruptor (tras múltiples modificaciones) controlado por el microcontrolador que se muestra en la Figura 5.5. Como se observa, consta de tres dispositivos principales, el optoacoplador CNY17, el transistor BJT 2N2222 y el MOSFET IRF640. La misión del optoacoplador es aislar el circuito de potencia y el de control con suficiente velocidad de conmutación. Un optoacoplador combina un dispositivo semiconductor formado por un fotoemisor, un fotoreceptor y entre ambos hay un camino por donde se transmite la luz pero sin conectividad eléctrica. De este modo, el pin 7 del puerto D ataca al fotodiodo y los pines 4 y 5 del optoacoplador crean un cortocircuito virtual que hacen que a su vez colector y emisor del 2N2222 creen otro cortocircuito cortando la alimentación a la puerta del MOSFET. Queda claro entonces que si PORTD.7=1 cortamos la alimentación al módem. Son necesarios dos transistores (del optoacoplador y el 2N2222) BJT en cascada porque el optoacoplador por sí sólo no es capaz de soportar grandes tensiones e intensidades y se quemaría, por ello gobierna la base de un transistor más potente. En la Tabla 5.5, la Tabla 5.6 y la Tabla 5.7 se aprecian los detalles de los tres transistores.

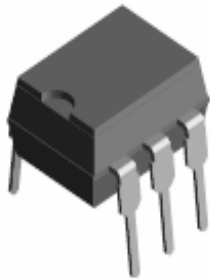
Cabe decir también que la presencia del IRF640 hace que entre los bornes de entrada al módem no caigan los 12V especificados (consume en trono a 2V en las condiciones de funcionamiento testadas). Sin embargo, éste era un nivel recomendado por el distribuidor sin disponer de especificaciones técnicas reales de la placa adaptadora, para solventar este problema se realizaron ensayos in situ con distintas tensiones de entrada y se comprobó que tensiones superiores a 7 V eran suficientes para hacer que el módem funcionara perfectamente en todos los modos.

Se barajaron otras opciones de diseño para el switch, como usar un relé regido a través de un transistor como el 2N2222 de nuestro diseño por los mismos motivos. Sin embargo, su coste más elevado y sobre todo, su gran volumen hicieron descartarlo. No obstante, cuenta con la ventaja de aproximarse mucho más a un interruptor ideal.



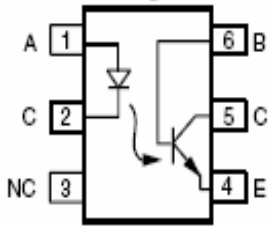
**Figura 5.5** Esquema del interruptor del módem

**Input**



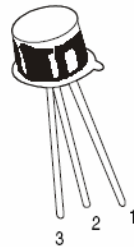
| Parameter         | Test condition    | Symbol     | Value | Unit |
|-------------------|-------------------|------------|-------|------|
| Reverse voltage   |                   | $V_R$      | 6.0   | A    |
| Forward current   |                   | $I_F$      | 60    | mA   |
| Surge current     | $t \leq 10 \mu s$ | $I_{FSM}$  | 2.5   | A    |
| Power dissipation |                   | $P_{diss}$ | 100   | mW   |

**Output**

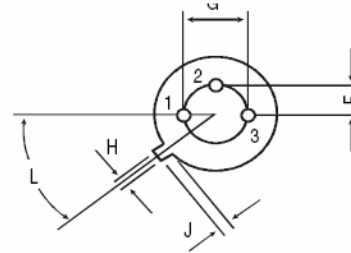


| Parameter                           | Test condition | Symbol     | Value | Unit |
|-------------------------------------|----------------|------------|-------|------|
| Collector-emitter breakdown voltage |                | $BV_{CEO}$ | 70    | V    |
| Emitter-base breakdown voltage      |                | $BV_{EBO}$ | 7.0   | V    |
| Collector current                   |                | $I_C$      | 50    | mA   |
|                                     | $t < 1.0 ms$   | $I_C$      | 100   | mA   |
| Power dissipation                   |                | $P_{diss}$ | 150   | mW   |

**Tabla 5.5 Optoacoplador CNY17**



PIN CONFIGURATION  
 1. EMITTER  
 2. BASE  
 3. COLLECTOR



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

| DESCRIPTION                                      | SYMBOL                            | 2N2221A,22A | UNIT     |
|--|-----------------------------------|-------------|----------|
| Collector -Emitter Voltage                       | V <sub>CEO</sub>                  | 40          | V        |
| Collector -Base Voltage                          | V <sub>CB0</sub>                  | 75          | V        |
| Emitter -Base Voltage                            | V <sub>EBO</sub>                  | 6.0         | V        |
| Collector Current Continuous                     | I <sub>C</sub>                    | 800         | mA       |
| Power Dissipation @Ta=25 degC                    | PD                                | 500         | mW       |
| Derate Above 25deg C                             |                                   | 2.28        | mW/deg C |
| @ Tc=25 degC                                     | PD                                | 1.2         | W        |
| Derate Above 25deg C                             |                                   | 6.85        | mW/deg C |
| Operating And Storage Junction Temperature Range | T <sub>j</sub> , T <sub>stg</sub> | -65 to +200 | deg C    |

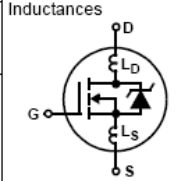
**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=25 deg C Unless Otherwise Specified)**

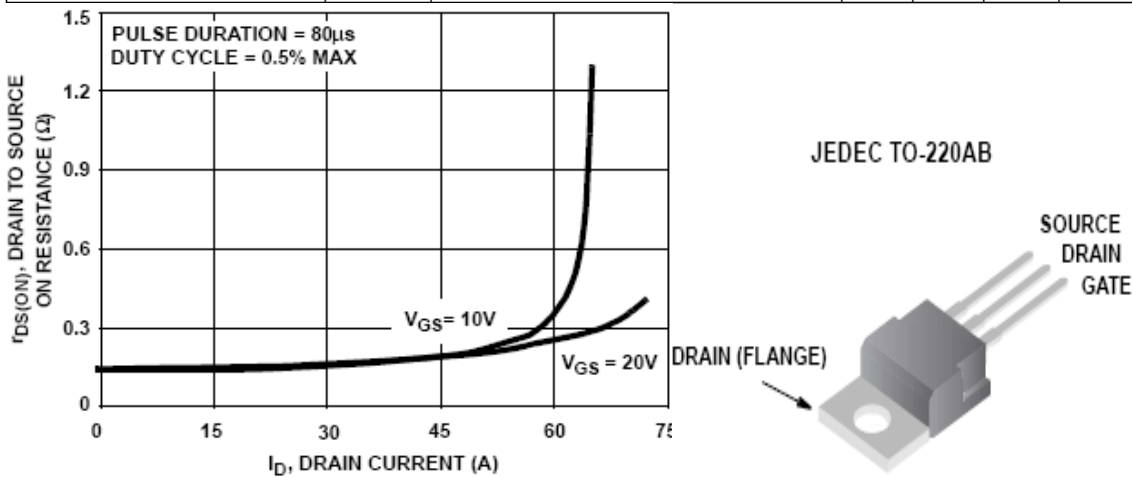
| DESCRIPTION                          | SYMBOL                | TEST CONDITION                            | VALUE |         | UNIT |
|--------------------------------------|-----------------------|---|-------|---------|------|
|                                      |                       |   | MIN   | MAX     |      |
| Collector -Emitter Voltage           | V <sub>CEO</sub>      | IC=10mA, IB=0                             | 40    | -       | V    |
| Collector -Base Voltage              | V <sub>CB0</sub>      | IC=10uA, IE=0                             | 75    | -       | V    |
| Emitter-Base Voltage                 | V <sub>EBO</sub>      | IE=10uA, IC=0                             | 6.0   | -       | V    |
| Collector-Cut off Current            | I <sub>CB0</sub>      | V <sub>CB</sub> =60V, IE=0                | -     | 10      | nA   |
|                                      |                       | Ta=150 deg C                              |       |         |      |
|                                      |                       | V <sub>CB</sub> =60V, IE=0                | -     | 10      | uA   |
| Emitter-Cut off Current              | I <sub>CEX</sub>      | V <sub>CE</sub> =60V, V <sub>EB</sub> =3V | -     | 10      | nA   |
|                                      | I <sub>EBO</sub>      | V <sub>EB</sub> =3V, IC=0                 | -     | 10      | nA   |
| Base-Cut off Current                 | I <sub>BL</sub>       | V <sub>CE</sub> =60V, V <sub>EB</sub> =3V | -     | 20      | nA   |
| Collector Emitter Saturation Voltage | V <sub>CE(Sat)*</sub> | IC=150mA, IB=15mA                         | -     | 0.3     | V    |
|                                      |                       | IC=500mA, IB=50mA                         | -     | 1.0     | V    |
| Base Emitter Saturation Voltage      | V <sub>BE(Sat)*</sub> | IC=150mA, IB=15mA                         | -     | 0.6-1.2 | V    |
|                                      |                       | IC=500mA, IB=50mA                         | -     | 2.0     | V    |

**Tabla 5.6 Transistor BJT 2N2222**



**Electrical Specifications**  $T_C = 25^{\circ}\text{C}$ , Unless Otherwise Specified

| PARAMETER  | SYMBOL          | TEST CONDITIONS   | MIN   | TYP  | MAX       | UNITS                |                      |
|--|-----------------|---|---|------|-----------|----------------------|----------------------|
| Drain to Source Breakdown Voltage                  | $BV_{DSS}$      | $I_D = 250\mu\text{A}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ , (Figure 10)   | 200   | -    | -         | V                    |                      |
| Gate Threshold Voltage                             | $V_{GS(TH)}$    | $V_{GS} = V_{DS}$ , $I_D = 250\mu\text{A}$  | 2   | -    | 4         | V                    |                      |
| Zero Gate Voltage Drain Current                    | $I_{DSS}$       | $V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$  | -   | -    | 25        | $\mu\text{A}$        |                      |
|  |                 | $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ , $T_J = 125^{\circ}\text{C}$   | -   | -    | 250       | $\mu\text{A}$        |                      |
| On-State Drain Current (Note 1)                    | $I_{D(ON)}$     | $V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}$ , $V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 7)  | 18  | -    | -         | A                    |                      |
| Gate to Source Leakage Current                     | $I_{GSS}$       | $V_{GS} = \pm 20\text{V}$   | -   | -    | $\pm 100$ | nA                   |                      |
| Drain to Source On Resistance (Note 1)             | $r_{DS(ON)}$    | $I_D = 10\text{A}$ , $V_{GS} = 10\text{V}$ (Figures 8, 9)   | -   | 0.14 | 0.18      | $\Omega$             |                      |
| Forward Transconductance (Note 1)                  | $g_{fs}$        | $V_{DS} \geq 10\text{V}$ , $I_D = 11\text{A}$ (Figure 12)   | 6.7   | 10   | -         | S                    |                      |
| Turn-On Delay Time                                 | $t_{d(ON)}$     | $V_{DD} = 100\text{V}$ , $I_D = 18\text{A}$ , $R_{GS} = 9.1\Omega$ , $R_L = 5.4\Omega$ ,<br>MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature                                 | -   | 13   | 21        | ns                   |                      |
| Rise Time  | $t_r$           |   | -   | 50   | 77        | ns                   |                      |
| Turn-Off Delay Time                                | $t_{d(OFF)}$    |   | -   | 46   | 68        | ns                   |                      |
| Fall Time  | $t_f$           |   | -   | 35   | 54        | ns                   |                      |
| Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain) | $Q_g(TOT)$      | $V_{GS} = 10\text{V}$ , $I_D = 18\text{A}$ , $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}$<br>(Figure 14) Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature<br>$I_{G(REF)} = 1.5\text{mA}$ | -   | 43   | 64        | nC                   |                      |
| Gate to Source Charge                              | $Q_{gs}$        |   | -   | 8    | -         | nC                   |                      |
| Gate to Drain "Miller" Charge                      | $Q_{gd}$        |   | -   | 22   | -         | nC                   |                      |
| Input Capacitance                                  | $C_{ISS}$       | $V_{DS} = 25\text{V}$ , $V_{GS} = 0\text{V}$ , $f = 1\text{MHz}$ (Figure 11)  | -   | 1275 | -         | pF                   |                      |
| Output Capacitance                                 | $C_{OSS}$       |   | -   | 400  | -         | pF                   |                      |
| Reverse Transfer Capacitance                       | $C_{RSS}$       |   | -   | 100  | -         | pF                   |                      |
| Internal Drain Inductance                          | $L_D$           | Measured From the Contact Screw on Tab to Center of Die   |  | -    | 3.5       | -                    | nH                   |
|  |                 | Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die  |   | -    | 4.5       | -                    | nH                   |
| Internal Source Inductance                         | $L_S$           | Measured From the Source Lead, 6mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad   |   | -    | 7.5       | -                    | nH                   |
| Thermal Resistance Junction to Case                | $R_{\theta JC}$ |   |   | -    | -         | 1                    | $^{\circ}\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance Junction to Ambient             | $R_{\theta JA}$ | Free Air Operation, IRF640  | -   | -    | 62        | $^{\circ}\text{C/W}$ |                      |
|  | $R_{\theta JA}$ | RF1S640SM Mounted on FR-4 Board with Minimum Mounting Pad   | -   | -    | 62        | $^{\circ}\text{C/W}$ |                      |



**Tabla 5.7** Transistor MOSFET IRF640

Como se aprecia en la gráfica superior de la Tabla 5.7, el valor de  $r_{DS}$  para intensidades de drenador inferiores a 15A se puede aproximar por 0.2 ohmios. Para una intensidad de 3A, provocarían una caída de 0.6V. Esta indicación fue empleada como primera aproximación para saber la tensión que se restaría a los 12V que inicialmente iban a alimentar al módem. Este valor dista mucho de los 2V que se reflejaron en las pruebas empíricas, pero resulta lógico si se observa que el ensayo del fabricante se



realizó en conmutación con duty cycle de 0.5%. En nuestro caso nos aproximamos al caso de alimentación continua sin conmutación.

### 5.3 Interfaz puerto serie

De secciones anteriores se sabe que disponemos de un microcontrolador con dos UART, pero los niveles de tensión que genera son TTL y si deseamos una comunicación que cumpla la norma RS-232, tendremos que adaptar dichos niveles de tensión a los que se muestran en la Figura 5.6.

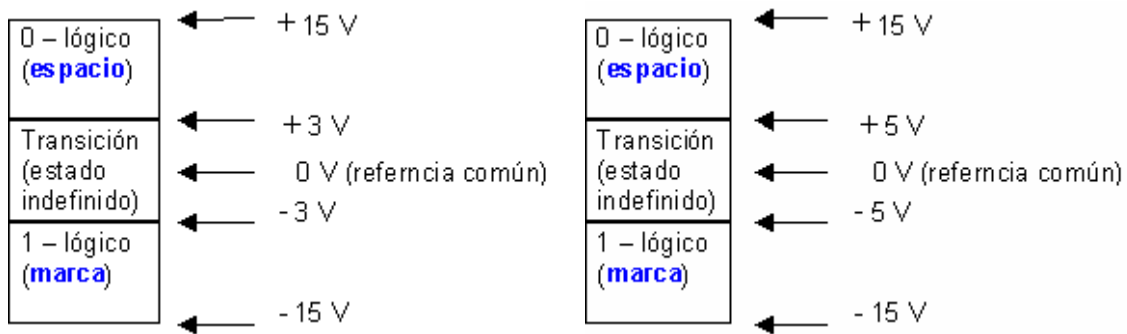


Figura 5.6 Niveles lógicos para entradas y salidas RS-232

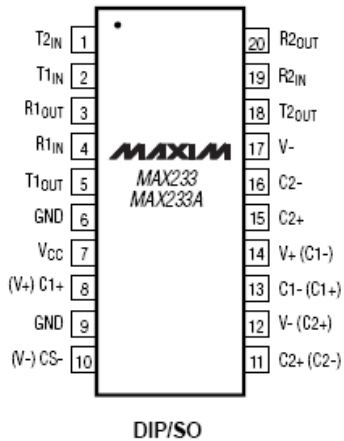
Para conseguirlo, se disponen en el mercado de numerosos ICs basados en el veterano MAX232, que ofrece dos búferes capaces de adaptar los niveles en cada sentido. En nuestro caso hemos optado por una versión mejorada de dicho integrado, el MAX233ACPP del fabricante Maxim en formato DIP, que dispone de la ventaja sobre su predecesor de no necesitar capacidades externas salvo una de desacoplo de alimentación, simplificándose así el diseño de la placa. En la Figura 5.7 se muestran los datos más relevantes de este chip. Disponemos pues de un búfer en cada sentido para las comunicaciones con el módem y el PLC, lo cual es suficiente pues dado que la tasa de transmisión será muy baja, no se necesita control hardware de la comunicación mediante las líneas CTS (Clear To Send) y RTS (Request To Send), líneas estas que requerirían de una total de cuatro búferes adicionales, necesitándose por tanto de otro MAX233 para lograrlo.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MAX220/222/232A/233A/242/243**

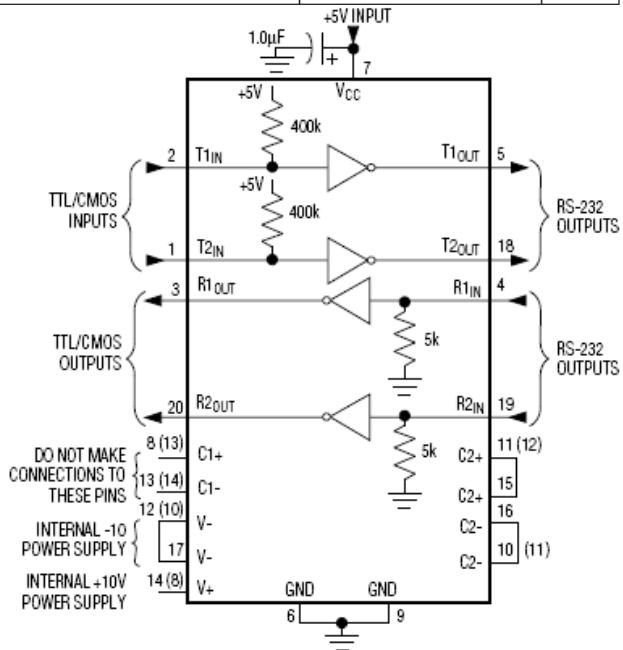
( $V_{CC} = +5V \pm 10\%$ ,  $C1-C4 = 0.1\mu F$ , MAX220,  $C1 = 0.047\mu F$ ,  $C2-C4 = 0.33\mu F$ ,  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.)

| PARAMETER                             | CONDITIONS  | MIN                         | TYP            | MAX      | UNITS         |
|---------------------------------------|---|-----------------------------|----------------|----------|---------------|
| <b>RS-232 TRANSMITTERS</b>            |   |                             |                |          |               |
| Output Voltage Swing                  | All transmitter outputs loaded with $3k\Omega$ to GND                       | $\pm 5$                     | $\pm 8$        |          | V             |
| Input Logic Threshold Low             |   |                             | 1.4            | 0.8      | V             |
| Input Logic Threshold High            |   | 2                           | 1.4            |          | V             |
| Logic Pull-Up/Input Current           | All except MAX220, normal operation   |                             | 5              | 40       | $\mu A$       |
|                                       | $\overline{SHDN} = 0V$ , MAX222/242, shutdown, MAX220                       |                             | $\pm 0.01$     | $\pm 1$  |               |
| Output Leakage Current                | $V_{CC} = 5.5V$ , $\overline{SHDN} = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 15V$ , MAX222/242 |                             | $\pm 0.01$     | $\pm 10$ | $\mu A$       |
|                                       | $V_{CC} = \overline{SHDN} = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 15V$                       |                             | $\pm 0.01$     | $\pm 10$ |               |
| Data Rate                             | All except MAX220, normal operation   |                             | 200            | 116      | kbits/<br>sec |
|                                       | MAX220  |                             | 22             | 20       |               |
| Transmitter Output Resistance         | $V_{CC} = V+ = V- = 0V$ , $V_{OUT} = \pm 2V$                                | 300                         | 10M            |          | $\Omega$      |
| Output Short-Circuit Current          | $V_{OUT} = 0V$  | $\pm 7$                     | $\pm 22$       |          | mA            |
| <b>RS-232 RECEIVERS</b>               |   |                             |                |          |               |
| RS-232 Input Voltage Operating Range  |   |                             |                | $\pm 30$ | V             |
| RS-232 Input Threshold Low            | $V_{CC} = 5V$   | All except MAX243 $R2_{IN}$ | 0.8            | 1.3      | V             |
|                                       |   | MAX243 $R2_{IN}$ (Note 2)   | -3             |          |               |
| RS-232 Input Threshold High           | $V_{CC} = 5V$   | All except MAX243 $R2_{IN}$ |                | 1.8      | V             |
|                                       |   | MAX243 $R2_{IN}$ (Note 2)   |                | -0.5     |               |
| RS-232 Input Hysteresis               | All except MAX243, $V_{CC} = 5V$ , no hysteresis in shdn.                   | 0.2                         | 0.5            | 1        | V             |
|                                       | MAX243  |                             | 1              |          |               |
| RS-232 Input Resistance               |   | 3                           | 5              | 7        | $k\Omega$     |
| TTL/CMOS Output Voltage Low           | $I_{OUT} = 3.2mA$   |                             | 0.2            | 0.4      | V             |
| TTL/CMOS Output Voltage High          | $I_{OUT} = -1.0mA$  | 3.5                         | $V_{CC} - 0.2$ |          | V             |
| TTL/CMOS Output Short-Circuit Current | Sourcing $V_{OUT} = GND$  | -2                          | -10            |          | mA            |
|                                       | Shrinking $V_{OUT} = V_{CC}$  | 10                          | 30             |          |               |

TOP VIEW



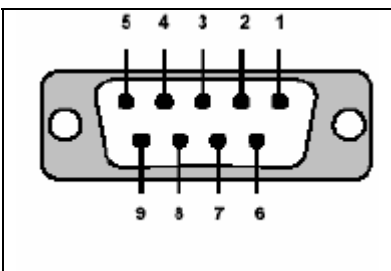
( ) ARE FOR SO PACKAGE ONLY.



**Figura 5.7 Maxim MAX233**

La interfaz física de la comunicación se basa en el conector DB9 como recomienda la norma RS-232, utilizaremos conectores hembra acodados para su inserción en la placa y utilizaremos un conexionado para las comunicaciones de tipo módem nulo a tres hilos con protocolo por hardware emulado (sin handshaking), consistente en cruzar las líneas TX y RX, usar GND común y cortocircuitar en cada conector los pines destinados a CTS y RTS así como DTR y DSR, dejando el resto sin conectar. En la Tabla 5.8 se detallan el significado de las abreviaturas y los pines asociados y en la Figura 5.8 el esquema del conexionado de las comunicaciones.

| Número de pin | Señal                            |
|---------------|----------------------------------|
| 1             | <b>DCD</b> (Data Carrier Detect) |
| 2             | <b>RX</b>                        |
| 3             | <b>TX</b>                        |
| 4             | <b>DTR</b> (Data Terminal Ready) |
| 5             | <b>GND</b>                       |
| 6             | <b>DSR</b> (Data Set Ready)      |
| 7             | <b>RTS</b> (Request To Send)     |
| 8             | <b>CTS</b> (Clear To Send)       |
| 9             | <b>RI</b> (Ring Indicator)       |



Conector para puerto serie hembra

Tabla 5.8 Conector DB9 hembra

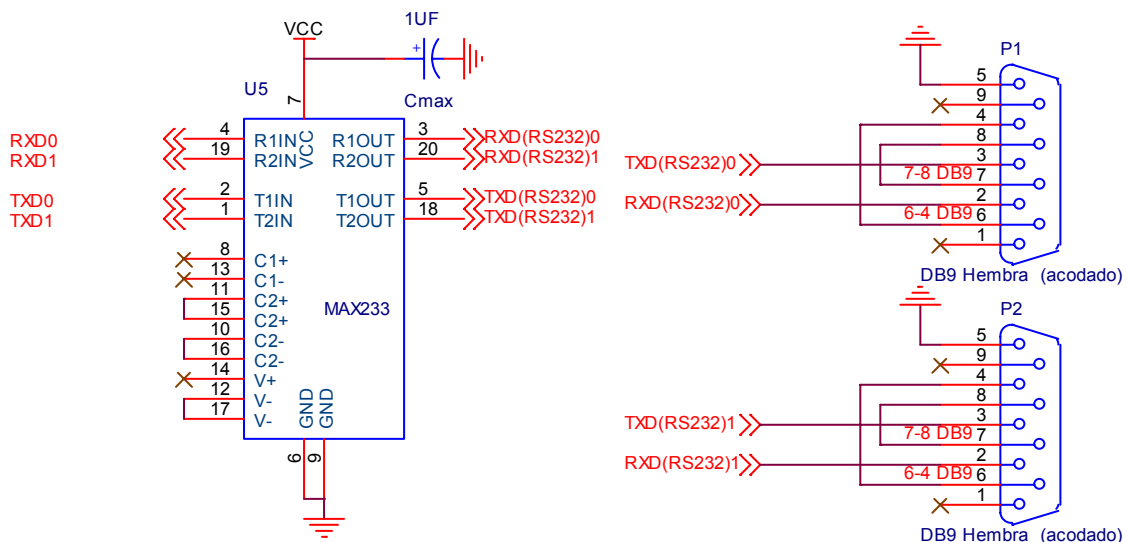
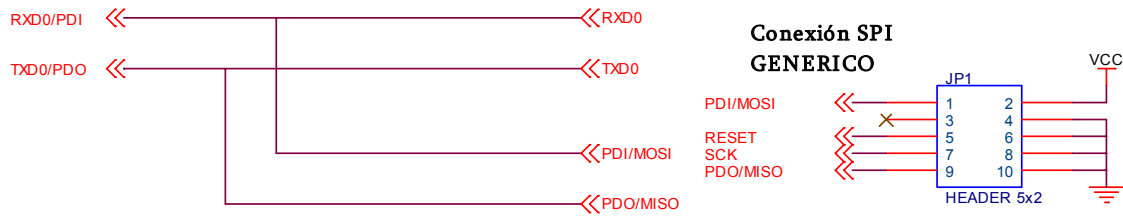


Figura 5.8 Conexión de las comunicaciones

## 5.4 Puerto de programación SPI

La programación del microcontrolador se realiza a través del interfaz SPI (Serial Programming Interface). En el caso del ATmega128 existe la peculiaridad de que la funcionalidad de lectura/escritura del programa de la memoria flash se realiza a través de los pines PDI/PDO y no de los pines MOSI/MISO como suele ser habitual en otros microcontroladores de la familia AVR. Además, para el ATmega128 estos pines se comparten con las líneas RXD0/TXD0, sin embargo, ambas funcionalidades, USART0 y SPI no interfieren entre sí pues la programación SPI se realiza con el reset activo y la USART0 sólo está disponible en el modo de funcionamiento normal. Para compartir los pines, simplemente se interconectan ambos interfaces, las señales RXD0/PDI y TXD0/PDO de la Figura 5.9 son del microcontrolador y se bifurcan para ser conectadas al adaptador de niveles MAX233 y al conector del programador SPI.

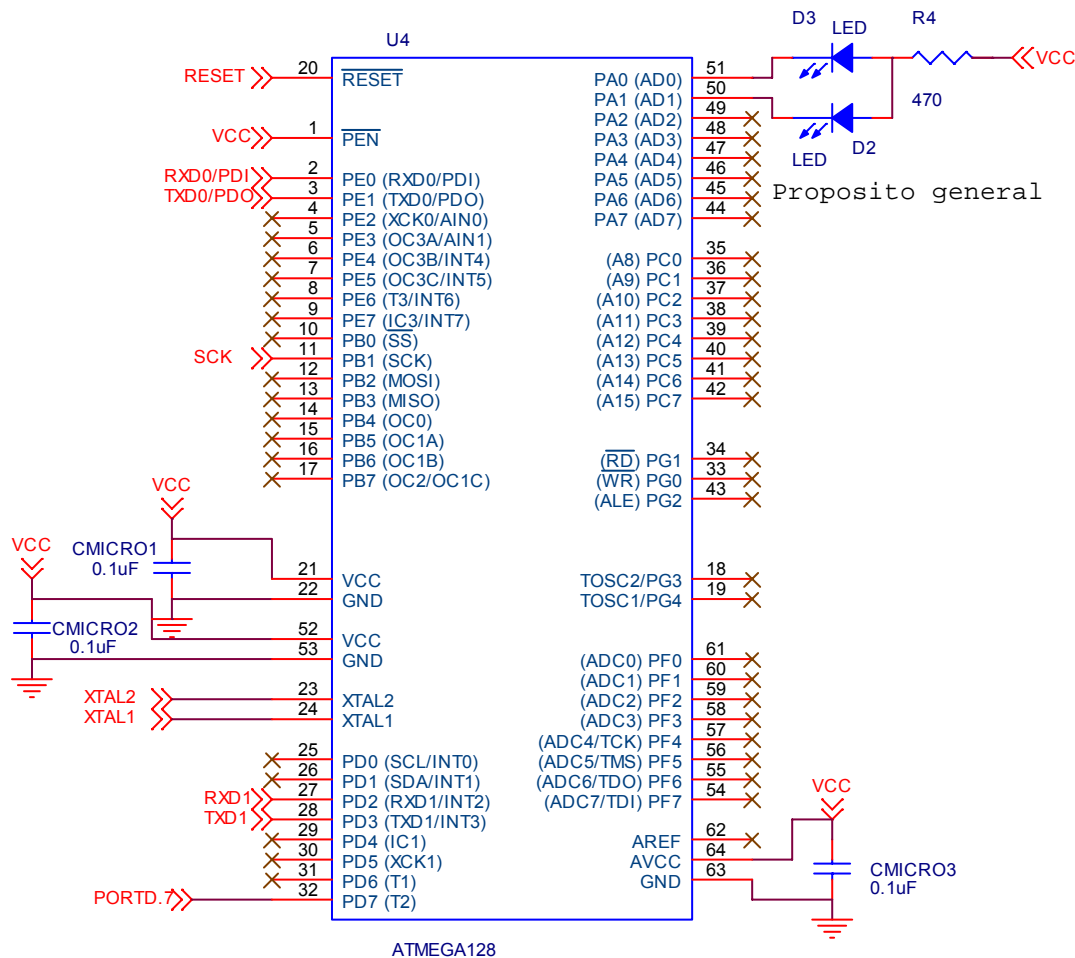


**Figura 5.9** Puerto de programación SPI

El interfaz SPI consta de un conector para comunicarse con el programador flash AVR ISP. La señal PDI/MOSI se emplea para enviar el programa desde el programador hasta el microcontrolador mientras que PDO/MISO se usa para leer el contenido de la memoria de programa. Este tipo de transferencias son síncronas para lo que se emplea la señal de reloj SCK. La señal RESET se conecta al reset del sistema y actúa sobre el reset del microcontrolador para que este entre en el modo de programación.

## 5.5 Microcontrolador

En la Figura 5.10 se muestra un esquema general del conexionado del ATmega128, aunque faltan los circuitos de reset y reloj que se detallarán más adelante.



**Figura 5.10** Microcontrolador ATmega128

Se aprecia que el microcontrolador dispone de dos entradas de alimentación desacopladas por condensadores más una adicional AVCC para el convertidor analógico digital que Atmel recomienda conectar aunque no se utilice. Se ha dotado además de un par de LEDs de propósito general conectados a los pines 0 y 1 del puerto A. El pin PEN se utiliza únicamente para introducir al dispositivo en modo de programación y la configuración adoptada es la más recomendada cuando se utiliza un programador sobre SPI. El cristal utilizado es de 8 MHz como se aprecia en la Figura 5.11 con condensadores de 22 pF según se indica en la Tabla 5.9. Se ha añadido un sencillo circuito de reset que actúa sobre el pin de reset del microcontrolador que ya está habilitado para ello, pudiendo así iniciar el sistema en caso de fallo.

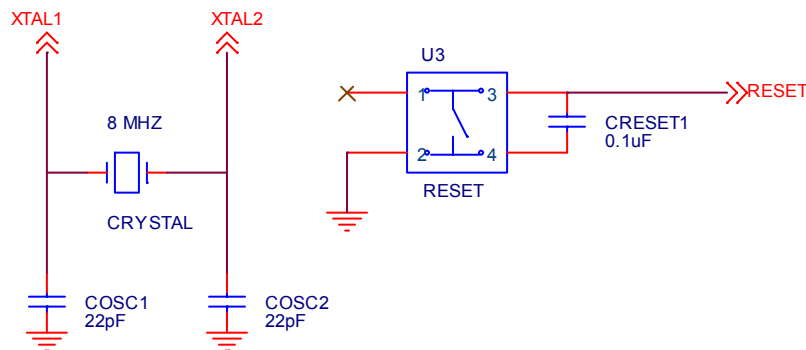


Figura 5.11 Circuitos de reloj y reset

| CKOPT | CKSEL3 ... 1  | Frequency Range (MHz) | Rango recomendado para las Capacidades C1 and C2 para uso con cristales |
|-------|---------------|-----------------------|---|
| 1     | 101(1)        | 0.4 - 0.9             | -   |
| 1     | 110           | 0.9 - 3.0             | 12 pF - 22 pF   |
| 1     | 111           | 3.0 - 8.0             | 12 pF - 22 pF   |
| 0     | 101, 110, 111 | 1.0 -                 | 12 pF - 22 pF   |

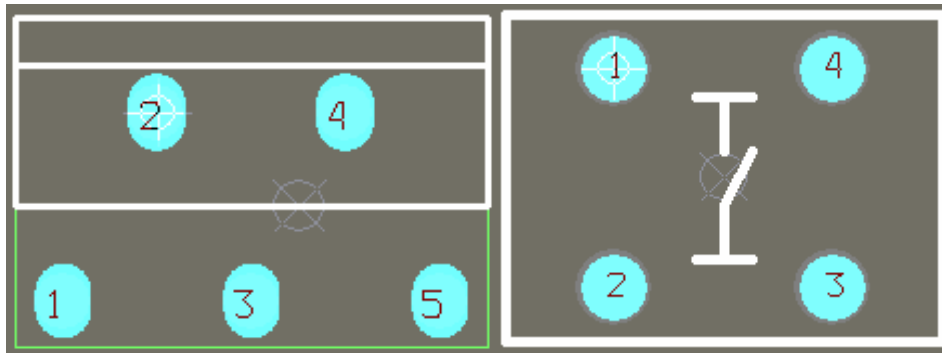
Tabla 5.9 Tabla de selección de condensadores del circuito de reloj

## 5.6 Trabajo realizado con Orcad

Mostramos a continuación los esquemáticos generados en Orcad para la realización de la tarjeta. La generación de esquemáticos es el primer paso para el diseño de un circuito utilizando Orcad, esta tarea no es demasiado costosa si se ha utilizado en alguna ocasión un programa de diseño asistido por ordenador cualquiera pues todos resultan bastante similares y el módulo Capture de Orcad cuenta con una bien surtida librería que nos facilitará la tarea.

El segundo paso es algo más problemático, se trata de emplear el módulo Layout para diseñar la huella que emplearemos para diseñar la PCB. Pronto descubrimos que este segundo módulo es mucho más parco en lo que a librerías se refiere, centrándose sobre todo en componentes extremadamente simples como condensadores y resistencias estándar o muy complejos, como conectores PCI por ejemplo. Para incluir en el diseño componentes que no estén listados en las librerías, se dispone de una pequeña

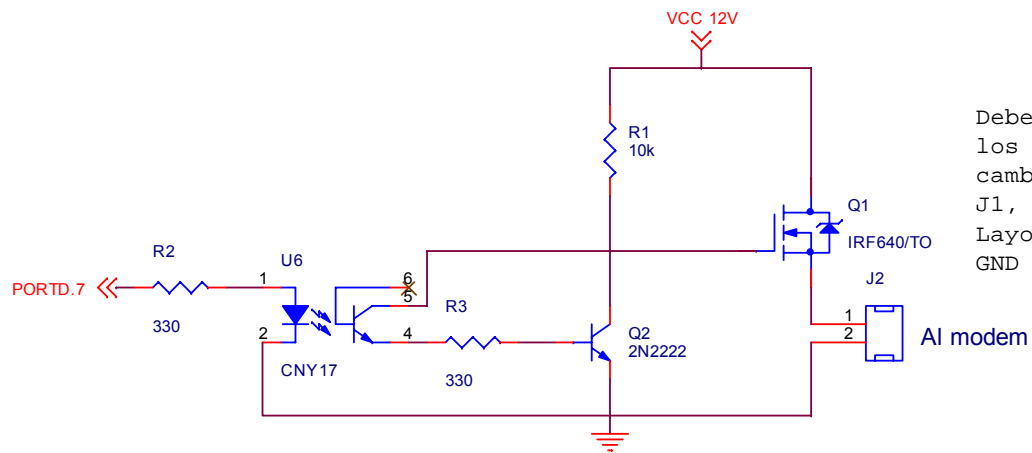
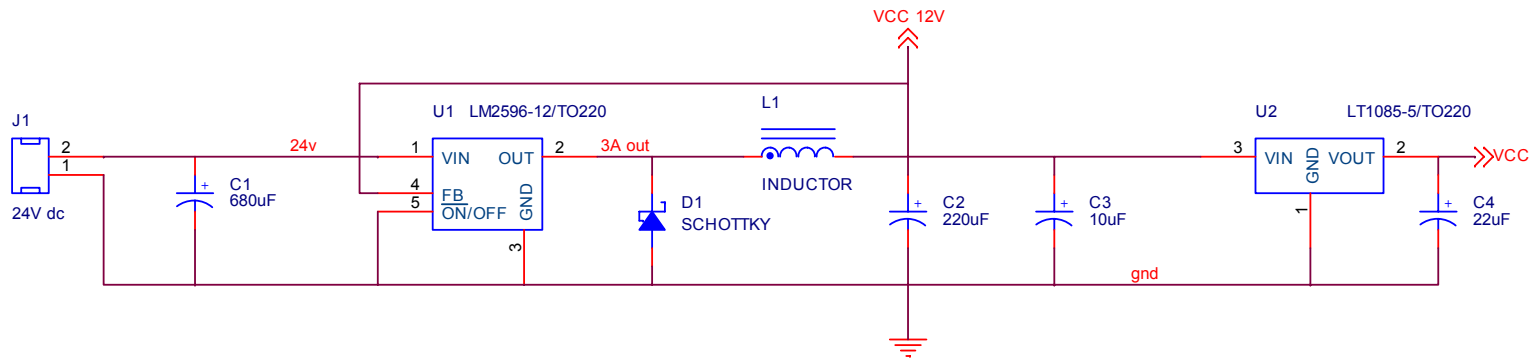
aplicación que permite generar las huellas de los dispositivos que sean necesarias. En nuestro caso fue necesario diseñar las huellas para el integrado LM2596 y el pulsador de reset que se muestran en la Figura 5.12. El diseño de las figuras es meramente orientativo para hacer más intuitiva la asociación entre huella y dispositivo físico. Los únicos aspectos realmente relevantes son el tamaño del componente y espaciado entre pines. Si la huella diseñada no tiene las dimensiones apropiadas, puede ocurrir que cuando se intenten insertar los distintos dispositivos en la placa, se descubra que se interceptan unos con otros, haciendo el diseño inviable.



**Figura 5.12** *Huellas creadas para Orcad*

Se recomienda utilizar como plantilla de diseño una que utilice medidas imperiales (propias del mundo anglosajón: pulgadas, pies, yardas, ...) y no unidades del SI (Sistema Internacional: milímetros, metros, ...) por ser éste el sistema nativo de Orcad en particular y de cualquier dispositivo electrónico en general, caso de no hacerse así y utilizar plantillas basadas en medidas SI, se corre el riesgo de obtener un layout ligeramente deformado. En este sistema las unidades son milésimas de pulgadas o *mils* y su importancia se entiende rápidamente si observamos que el espaciado estándar entre pines de un dispositivo DIP es de 100 mils. Por ello la pauta de diseño más recomendable es tomar una tira de 40 pines y utilizarla como nuestra regla de medida particular.

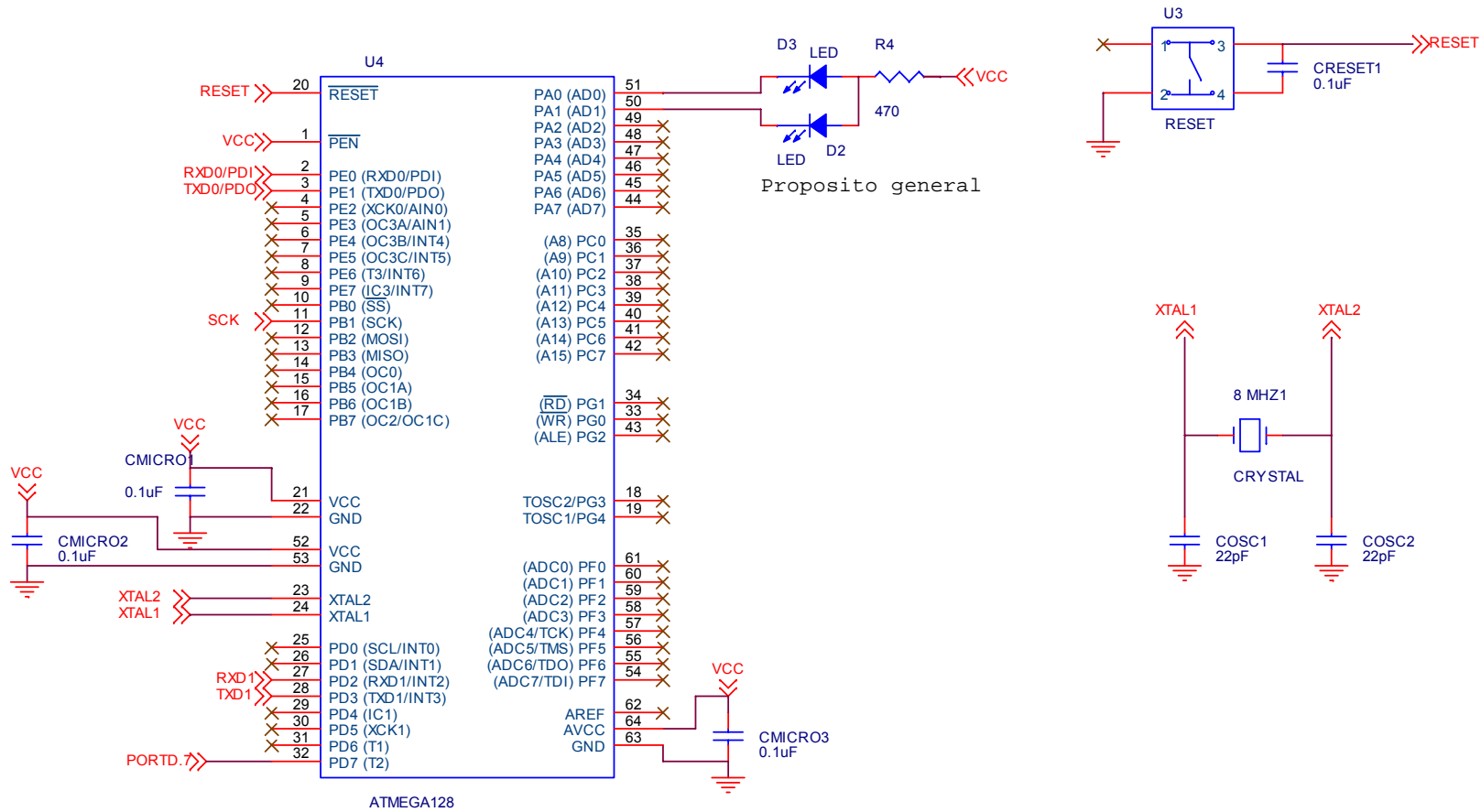
Para el resto de componentes, el programa fue capaz de asignarles una huella, sin embargo, se recomienda encarecidamente comprobar que los espaciados y las medidas de la huella son correctos pues no es extraño que el sistema yerre en esta tarea. En este caso en particular multitud de dispositivos entre los que destaca el microcontrolador tuvieron que ser corregidos pues el programa les asignó una huella errónea. En este caso, es necesario encontrar una huella que se adapte al dispositivo o diseñarla en caso de no encontrar ninguna que sirva para tal fin. Como ejemplos de huellas adaptadas citemos la del diodo SR503 que tiene asignada una huella cuya longitud es de 750 mils aunque en la Figura 5.4 se indica que esta medida es 375 mils o el Choke externo del convertidor LM2596 que tiene forma toroidal y que ha recibido una huella cuadrada. Insistimos de nuevo en que siendo cuidadosos podemos jugar con el diseño de la huella mientras respetemos el perímetro exterior y la ubicación de pines.



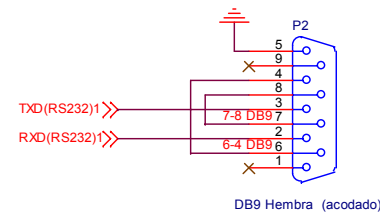
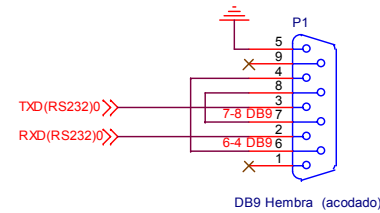
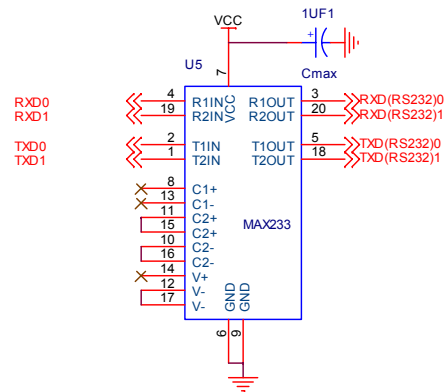
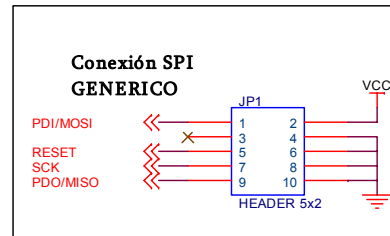
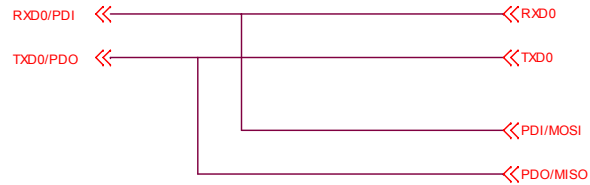
Debemos observar que los pines 1 y 2 están cambiados respecto a J1, igual ocurre en el Layout entre VCC 12V y GND

|                               |                         |              |
|-------------------------------|-------------------------|--------------|
| Diseño de aplicación embebida |                         |              |
| Title                         |                         |              |
| Alimentación y reset módem    |                         |              |
| Size<br>A                     | Document Number<br>1    | Rev<br>1.0   |
| Date:                         | Saturday, July 30, 2005 | Sheet 1 of 3 |





|                               |                         |              |
|-------------------------------|-------------------------|--------------|
| Diseño de aplicación embebida |                         |              |
| Title                         |                         |              |
| ATmega128                     |                         |              |
| Size                          | Document Number         | Rev          |
| A                             | 1                       | 1.0          |
| Date:                         | Saturday, July 30, 2005 | Sheet 2 of 3 |



|                                     |                      |            |
|-------------------------------------|----------------------|------------|
| Diseño de aplicación embebida       |                      |            |
| Title                               |                      |            |
| UARTS y SPI                         |                      |            |
| Size<br>A4                          | Document Number<br>1 | Rev<br>1.0 |
| Date:<br>Wednesday, August 17, 2005 | Sheet<br>3           | of<br>3    |



para evitar problemas en la fase de revelado por no contar con un sistema demasiado preciso, cuya falta de detalle puede ocasionar daños irreparables en pistas delgadas. Se ha huido del mismo modo de uniones angulosas, pues a la larga acumulan más óxido que las curvas suaves, deteriorándose el circuito. El resultado final se aprecia en la Figura 5.14, donde se observa que además de lo indicado se ha añadido un plano de masa para conseguir una buena circulación de las corrientes de retorno.

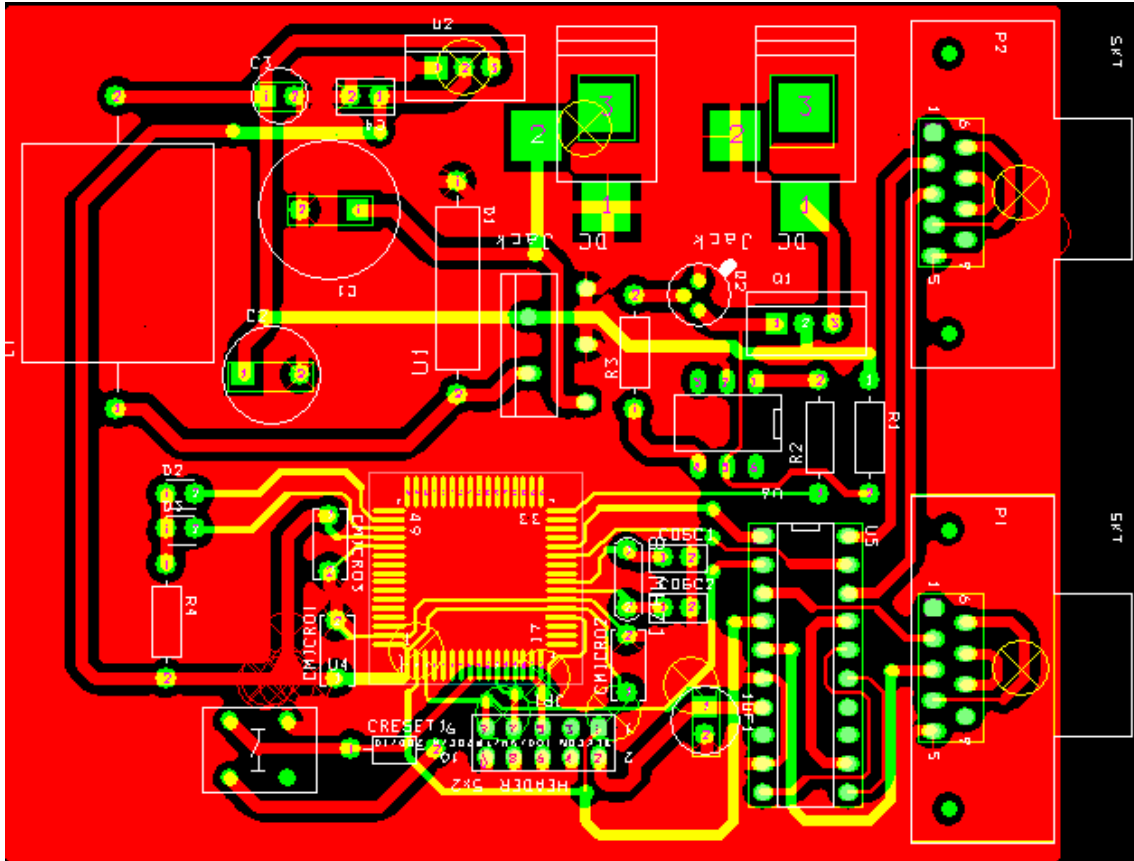


Figura 5.14 *Layout final*

En la Figura 5.15 aparecen los fotolitos utilizados para realizar el circuito a escala 1:1, si bien recomendamos el uso de Orcad y los ficheros adjuntos para su impresión. En la Figura 5.16 se muestra la disposición de los componentes, se ha intentado que las capacidades de desacoplo se encuentren lo más próximas posible a sus respectivos ICs para que cumplan su misión eficazmente, al igual que el cristal oscilador, que debe estar lo más próximo posible a los pines del ATmega128. Se aprecia que se ha utilizado una placa de circuito impreso de cobre positiva de doble cara dada la complejidad del sistema y la siempre deseable minimización de tamaño de la misma. La huella del microcontrolador es del tipo SMD por imposición del fabricante, sin embargo, se han elegido componentes TH para el resto de los dispositivos dado que para un principiante resultan más sencillos de manipular. Para finalizar, la Figura 5.17 muestra el sistema real una vez ensamblados sus componentes.

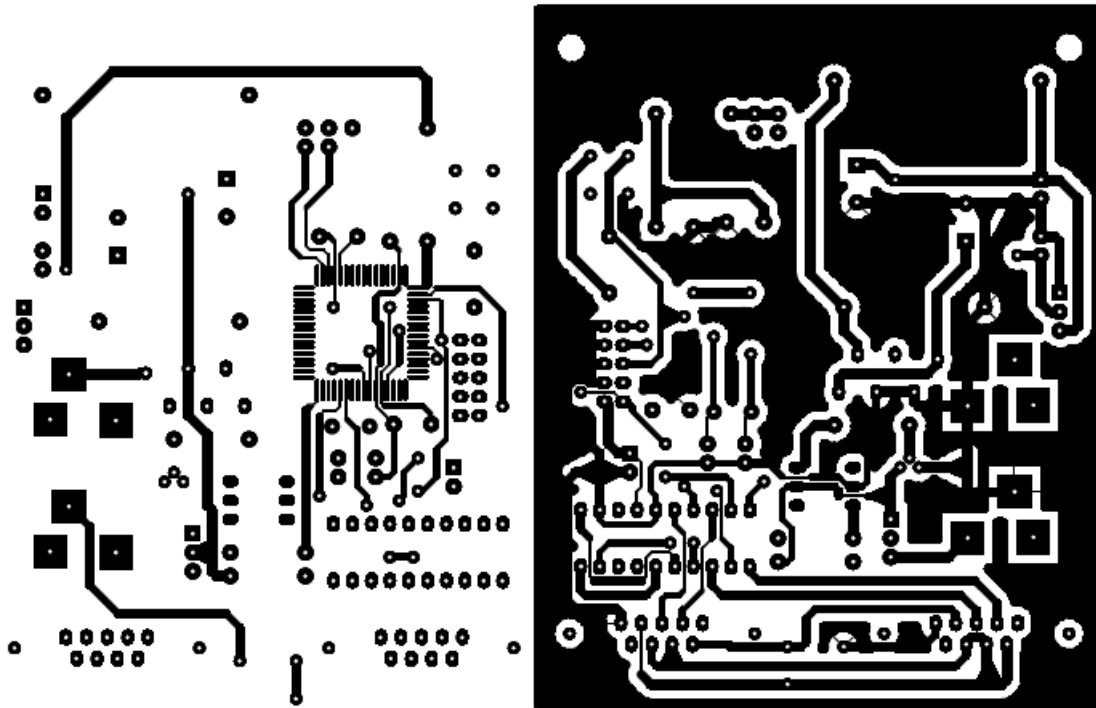


Figura 5.15 *Fotolitos generados con Orcad*

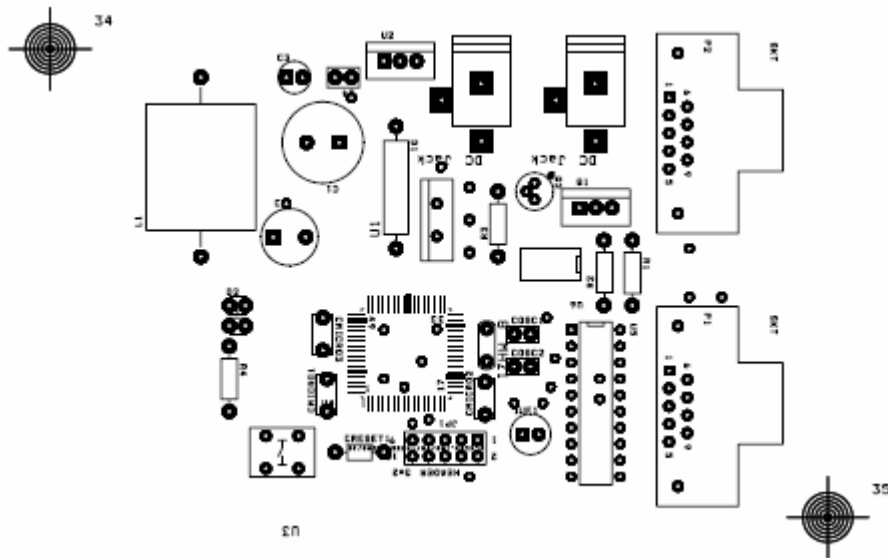
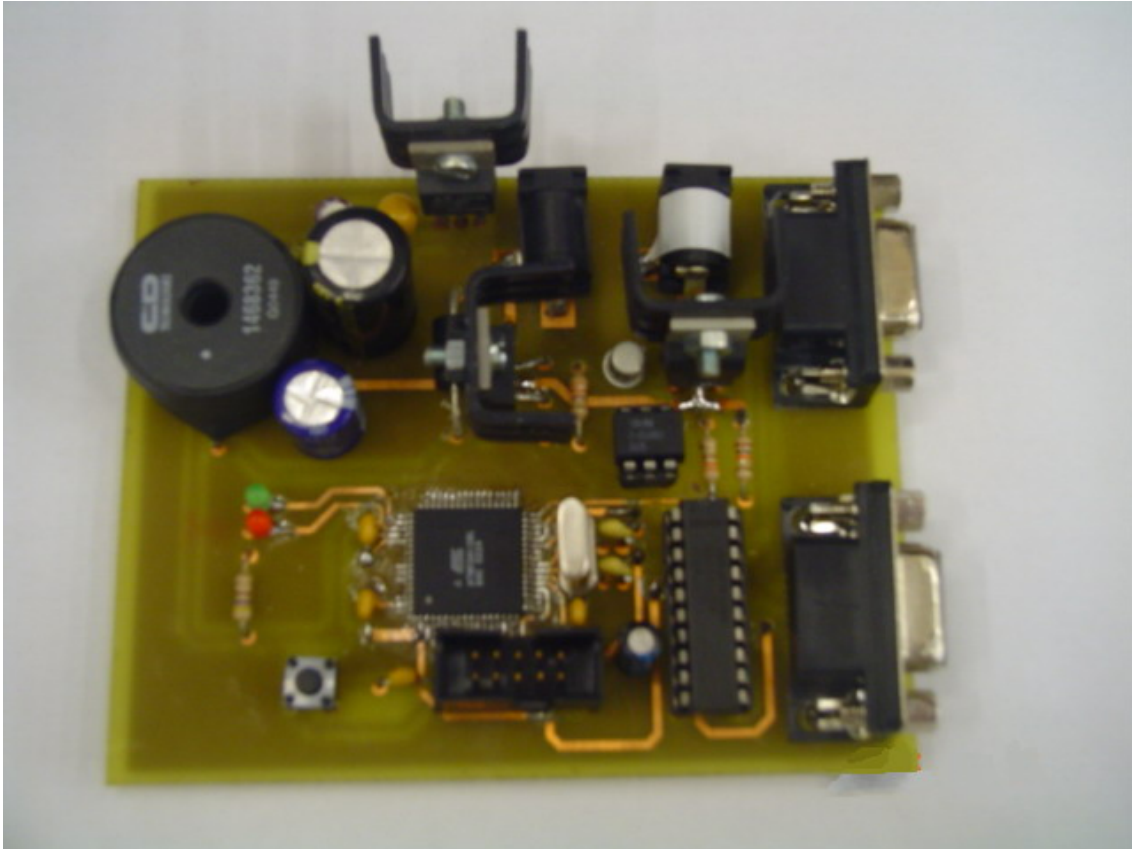


Figura 5.16 *Disposición de componentes*



**Figura 5.17** *Placa con el montaje completo*

Es importante una buena disposición de componentes para obtener un correcto funcionamiento del sistema y que el trazado de las pistas no se convierta en una labor inviable. Si se observa la Figura 5.16, se aprecian los conectores DB9 a la derecha de la imagen, siendo ocupada la parte inferior de la placa por la parte digital del sistema, destacando el microcontrolador, el MAX233 y el conector SPI. En la parte superior se han ubicado los adaptadores de tensión y conectores de potencia, así como el circuito de reset del módem. Los componentes que más llaman la atención por su volumen en esta parte son los condensadores, el diodo y el inductor exterior requeridos por el adaptador LM2596.

El rutado ha sido laborioso pues sistemas similares suelen realizarse con tecnologías de cuatro capas (dejando las capas internas para alimentación y tierra), equipos para taladrado automático y soldado de componentes con técnicas de soldado por ola de estaño en la que se pegan los componentes sobre la placa convenientemente preparada y el conjunto de placa más componentes se pasa a través de una fina película de estaño. Incluir además, que los circuitos integrados correspondientes al optoacoplador CNY17 y al adaptador de niveles MAX233 se han montado sobre zócalos para facilitar su montaje y desmontaje en caso de ser necesaria su sustitución, obviándose de esta forma el tener que recurrir al uso de un desoldador para realizar esta tarea.

## 5.7 Listado de componentes

Se detalla brevemente a continuación el listado de los componentes necesarios para el diseño de la placa:

| Elemento               | Valor              | Cantidad |
|------------------------|--------------------|----------|
| Condensador cerámico   | 0.1 $\mu$ F        | 4        |
| Condensador cerámico   | 22 pF              | 2        |
| Condensador Polarizado | 680 $\mu$ F        | 1        |
| Condensador Polarizado | 220 $\mu$ F        | 1        |
| Condensador Polarizado | 10 $\mu$ F         | 1        |
| Condensador Polarizado | 1 $\mu$ F          | 1        |
| Condensador Tántalo    | 22 $\mu$ F         | 1        |
| Diodo Schottky         | SR503              | 1        |
| LED                    |                    | 2        |
| Conector 5x2 macho     |                    | 1        |
| Conector Jack DC       |                    | 2        |
| Bobina                 | 64 $\mu$ H / 3.4 A | 1        |
| DB9 hembra acodado     |                    | 1        |
| DB9 macho acodado      |                    | 1        |
| Transistor MOSFET      | IRF640             | 1        |
| Transistor BJT         | 2N2222             | 1        |
| Resistencia            | 10 k $\Omega$      | 1        |
| Resistencia            | 330 $\Omega$       | 2        |
| Resistencia            | 470 $\Omega$       | 1        |
| Regulador de tensión   | LM2596-12          | 1        |
| Regulador de tensión   | LT1085-5           | 1        |
| Pulsador cuatro pines  |                    | 1        |
| Microcontrolador       | ATMega128          | 1        |
| Optoacoplador          | CNY17-2            | 1        |
| Adaptador de niveles   | MAX233             | 1        |
| Zócalo DIL             | 20 pines           | 1        |
| Zócalo DIL             | 6 pines            | 1        |
| Oscilador              | 8 MHz              | 1        |

**Tabla 5.10** *Listado de componentes*