

# **Memoria Justificativa**

---

## Índice

---

|             |                                                            |    |
|-------------|------------------------------------------------------------|----|
| 2.1         | DESCRIPCIÓN TÉCNICA .....                                  | 8  |
| 2.2         | EL SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓN DE LOS MÓVILES .....     | 9  |
| 2.2.1       | El GPS .....                                               | 10 |
| 2.2.1.1     | Medida de la distancia por Cuenta Doppler .....            | 11 |
| 2.2.1.2     | Medida de la distancia por Pseudodistancias .....          | 11 |
| 2.2.1.3     | Medida de la distancia por diferencia de fases .....       | 13 |
| 2.2.1.4     | Errores del sistema GPS.....                               | 15 |
| 2.2.1.5     | Mensajes del GPS .....                                     | 16 |
| 2.2.1.5.1   | Mensajes NMEA.....                                         | 16 |
| 2.2.1.5.1.1 | Mensaje GPGGA.....                                         | 17 |
| 2.2.1.5.1.2 | Mensaje GPGLL .....                                        | 17 |
| 2.2.1.5.1.3 | Mensaje GPRMC .....                                        | 18 |
| 2.2.1.6     | Conexión del GPS.....                                      | 18 |
| 2.2.2       | El sistema GSM .....                                       | 20 |
| 2.2.2.1     | Los comandos AT .....                                      | 21 |
| 2.2.2.1.1   | Comandos AT de inicialización .....                        | 21 |
| 2.2.2.1.1.1 | Comando AT.....                                            | 21 |
| 2.2.2.1.1.2 | Comando AT+IPR.....                                        | 22 |
| 2.2.2.1.1.3 | Comando AT+CPIN.....                                       | 22 |
| 2.2.2.1.1.4 | Comando AT+CNMI.....                                       | 24 |
| 2.2.2.1.1.5 | Comando AT+CSCA.....                                       | 24 |
| 2.2.2.1.2   | Comandos AT de configuración .....                         | 25 |
| 2.2.2.1.2.1 | Comando ATE0 .....                                         | 26 |
| 2.2.2.1.2.2 | Comando ATS3.....                                          | 26 |
| 2.2.2.1.2.3 | Comando AT+CMGF .....                                      | 26 |
| 2.2.2.1.2.4 | Comando AT&W .....                                         | 27 |
| 2.2.2.1.3   | El formato PDU .....                                       | 27 |
| 2.2.2.1.3.1 | Formato PDU para recepción de mensajes.....                | 28 |
| 2.2.2.1.3.2 | Formato PDU para el envío de mensajes .....                | 29 |
| 2.2.2.1.3.3 | Codificación del número de teléfono en el sistema PDU..... | 30 |
| 2.2.2.1.4   | Comandos AT para envío y lectura de mensajes SMS.....      | 31 |
| 2.2.2.1.4.1 | Comando AT+CREG? .....                                     | 31 |
| 2.2.2.1.4.2 | Comando AT+CMGR.....                                       | 31 |
| 2.2.2.1.4.3 | Comando AT+CMGS .....                                      | 32 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.2.1.4.4 Comando AT+CMGD .....                                | 32 |
| 2.2.2.1.4.5 Comando AT+CPMS.....                                 | 33 |
| 2.2.2.2 Conexión del Teléfono al sistema de posicionamiento..... | 33 |
| 2.2.3 El microcontrolador .....                                  | 36 |
| 2.2.3.1 Cristal usado .....                                      | 37 |
| 2.2.3.2 La memoria RAM.....                                      | 37 |
| 2.2.3.3 La memoria XRAM.....                                     | 38 |
| 2.2.3.4 La Memoria EEPROM.....                                   | 38 |
| 2.2.3.5 Configuración del Timer .....                            | 40 |
| 2.2.3.6 Configuración de la UART .....                           | 40 |
| 2.2.4 El multiplexor .....                                       | 42 |
| 2.2.5 Sistema de visualización .....                             | 44 |
| 2.2.6 Principio de funcionamiento del módulo móvil.....          | 46 |
| 2.2.6.1 Inicialización .....                                     | 46 |
| 2.2.6.2 Configuración .....                                      | 49 |
| 2.2.6.3 Gestión del GPS.....                                     | 53 |
| 2.2.6.4 Gestión del GSM.....                                     | 56 |
| 2.2.6.4.1 Inicialización del teléfono móvil.....                 | 57 |
| 2.2.6.4.2 Leer mensajes SMS.....                                 | 58 |
| 2.2.6.4.3 Enviar mensajes SMS.....                               | 59 |
| 2.2.6.5 Control de Timeout .....                                 | 61 |
| 2.2.7 Fuente de alimentación .....                               | 62 |
| 2.2.8 Reset del microcontrolador .....                           | 63 |
| 2.3 SISTEMA DE CONTROL DE LA BASE.....                           | 64 |
| 2.3.1 Gestión de los móviles.....                                | 64 |
| 2.3.2 Gestión de la base.....                                    | 67 |
| 2.3.3 Configuración del GPS.....                                 | 67 |
| 2.3.4 Comunicación con el teléfono móvil.....                    | 70 |
| 2.3.5 Cálculo de la posición.....                                | 71 |
| 2.4 ACTUALIZACIÓN DEL FIRMWARE.....                              | 73 |

## 2.1 Descripción técnica

El sistema a proyectar trata el control de posicionamiento de una serie de “móviles” por parte de una “base”, para ello los móviles disponen de un aparato electrónico encargado de calcular la posición y enviársela a la base cuando esta la solicite.

Por “móvil” se entiende todo objeto que puede ser desplazado susceptible de controlar su posición.

La “base” es un dispositivo, normalmente fijo, encargada de realizar el control de los diferentes móviles a su cargo, la base se compone de un PC y un teléfono con tecnología GSM.

El medio de comunicación entre base y móvil es vía mensaje de texto corto (SMS), la base puede enviar una serie de SMS a los móviles, los cuales interpretan y realizan la acción correspondiente como puede ser enviar la posición actual en la que se encuentra el móvil correspondiente.

El sistema electrónico instalado en el móvil se compone de un microcontrolador, un dispositivo GPS para obtener la posición y un teléfono GSM para poder realizar la comunicación con la base.

La secuencia de funcionamiento básica sería la siguiente:

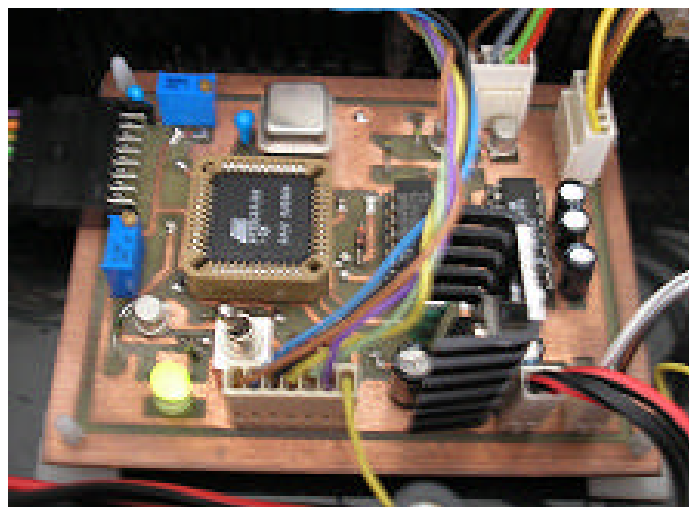
- El móvil se encuentra recibiendo la posición en la que se encuentra mediante el dispositivo de GPS y mostrándola al usuario del móvil en una pequeña pantalla LCD.
- En un momento dado la base envía un mensaje SMS pidiendo la posición del móvil.
- El móvil deja de escuchar al GPS y atiende a la llegada del mensaje, comprueba que este provenga de la base y lo procesa.

- El móvil comprueba que es una petición de posición y se pone a escuchar al GPS hasta recibir una posición, una vez recibida es enviada a la base por medio de un mensaje SMS.
- La base recibe el mensaje, comprueba que pertenezca a uno de sus móviles, lo decodifica y pinta un punto rojo en un mapa mostrando la situación de dicho móvil

Por todo lo expuesto el presente proyecto consta por una parte del sistema electrónico situado en los móviles para el control de la posición y por otra parte de una pequeña aplicación para PC que se encarga de realizar el control de los diferentes móviles.

## **2.2 El sistema de control de posición de los móviles**

Como se ha indicado anteriormente el sistema de control de posición se compone por una parte de un dispositivo GPS, un teléfono GSM y un microcontrolador, el cual es el encargado de gestionar los diferentes dispositivos.



### **2.2.1 El GPS**

Para obtener la posición geodésica en tiempo real del móvil se ha utilizado un dispositivo GPS, más concretamente pertenece a la familia RGM-3000XX00XX

Este dispositivo consta de dos puertos series de comunicación, uno por el cual se realiza la comunicación con el dispositivo de posicionamiento proyectado dando la posición del móvil, rumbo, velocidad, fecha, hora, ... y otro puerto por el cual se le pueden enviar correcciones diferenciales para hacer más preciso la localización de la posición.

Un dispositivo GPS puede tener una precisión entre 10-20m sin el uso de correcciones diferenciales, haciendo uso de las correcciones diferenciales se puede llegar a tener una precisión cercana al metro.

En el presente proyecto no se ha considerado el uso de las correcciones diferenciales. Un ejemplo de uso de las correcciones diferenciales sería:

- En la estación base, inmóvil y con su posición geodésica perfectamente determinada, se sitúa un receptor de GPS, este receptor envía la posición en la que se encuentra la estación base cada cierto tiempo y es comparada con la posición geodésica conocida, se calcula la diferencia y esta diferencia es enviada a los móviles para su corrección de posición y de esta forma obtener una mayor precisión.

El fundamento del sistema GPS consiste en la determinación de la distancia del receptor a los satélites. Esta medida se puede efectuar de tres formas diferentes: cuenta Doppler, pseudodistancias o diferencia de fases.

### **2.2.1.1 Medida de la distancia por Cuenta Doppler**

La base de este sistema es la medición del desplazamiento Doppler, que consiste en la variación aparente de la frecuencia recibida del satélite en función de la velocidad respecto al observador.

El receptor recibe la señal del satélite durante un cierto período de tiempo y la mezcla con una frecuencia generada por un oscilador interno, la variación de la señal diferencia de ambas establece la denominada *cuenta Doppler*.

La obtención de cuenta Doppler entre dos posiciones del satélite permite calcular la diferencia de las distancias entre dichas posiciones y el receptor. La distancia en sí no se conoce, y el receptor queda posicionado en un hiperboloide de revolución con foco en las posiciones observadas del satélite.

Las observaciones sobre 4 satélites determinan 4 hiperboloides cuya intersección determina la posición del receptor.

### **2.2.1.2 Medida de la distancia por Pseudodistancias**

Este método es exclusivo del sistema GPS y se basa en la determinación de la posición del receptor como la intersección de una serie esferas centradas en cada satélite y cuyos radios son las distancias respectivas al receptor.

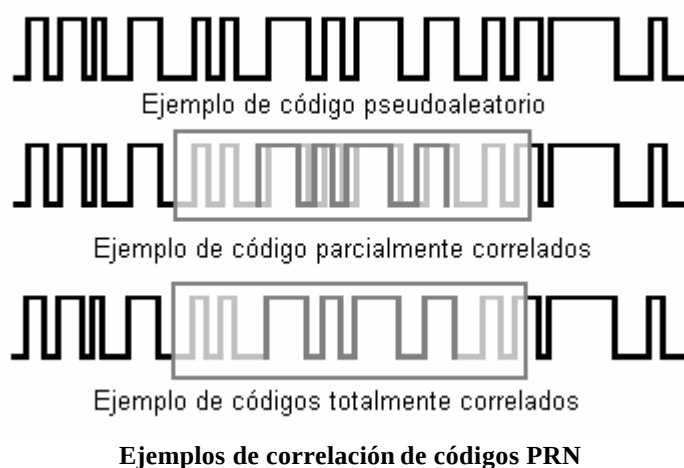
La determinación de la distancia satélite-receptor se lleva a cabo midiendo el tiempo que tarda la señal emitida por el satélite en alcanzar el receptor.

Este sistema permite el posicionamiento continuo en tiempo real.

Cada satélite tiene un identificador consistente en su propio PRN que transmite a los receptores. Este código pseudoaleatorio es utilizado para la determinación del tiempo que tarda la señal en alcanzar el receptor.

El receptor genera un código idéntico y busca la correlación de ambos códigos estableciendo sucesivos retardos a su código interno hasta que ambos coincidan.

Este retardo es el tiempo buscado pero presenta un error debido a la propia imprecisión del reloj interno, por ello la distancia que se obtiene a partir de este retardo es denominada pseudodistancia. Los satélites llevan a bordo relojes atómicos pero los receptores en tierra no, ya que su precio sería desorbitado.



La medida de la distancia a un satélite determinará una esfera de radio esa distancia. Usando un segundo satélite tendremos la intersección de dos esferas que nos determinará una circunferencia. La medida sobre un tercer satélite nos proporcionará una tercera esfera cuya intersección con las anteriores determinarán dos puntos, uno de los cuales es el valor que buscamos y el otro suele presentar un valor absurdo que se puede rechazar.

Parece que con tres satélites el receptor podría ser capaz de calcular su posición al determinar su distancia al satélite. Sin embargo para determinar el retardo de llegada de las señales procedentes de los satélites, el receptor utiliza su reloj interno basado en un cristal de cuarzo, de insuficiente precisión, por lo que la determinación de la distancia comprende un error que puede ser importante (*pseudodistancias*). Además hay

que considerar los errores ionosférico y en el reloj del satélite que también van a afectar a la medida de la distancia.

El mensaje que el receptor recibe de los satélites contiene información adecuada para la corrección de estos dos errores.

Si consideramos el error del reloj interno del receptor como una nueva incógnita y utilizamos un satélite adicional para calcular una cuarta distancia, se tendrá un sistema formado por 4 ecuaciones con 4 incógnitas  $X_i, Y_i, Z_i$  son las coordenadas de los satélites conocidas a través de la información que ellos mismos transmiten a los receptores y  $U_x, U_y, U_z$  son las coordenadas del receptor buscadas que unidas a  $\tau$  constituyen las 4 incógnitas a resolver.

Para facilitar la resolución se suele pedir al usuario que introduzca una posición aproximada ( $U_{x0}, U_{y0}, U_{z0}$ ) que permite linealizar las ecuaciones.

El código correspondiente al bloque estándar (SPS) se modula a 1,023 MHz (longitud de onda en torno a los 300 m) por lo que los errores pueden ser de unos 10-20 metros en tiempo real. Si se trata del código de posicionamiento preciso (PSS) modulado a 10,23 MHz (longitud de onda de 30 m) el error será de 1-2 m.

### **2.2.1.3 Medida de la distancia por diferencia de fases**

Este método es el que proporciona mayor precisión y se utiliza para el posicionamiento relativo de dos receptores que observan el mismo satélite y que pueden comunicarse para obtener sus coordenadas relativas.

La base del método es el control de la fase de la señal (portadora) recibida del satélite. Este control consiste en observar el desfase entre la señal del satélite y otra generada por el receptor. Este desfase variará según lo hace la distancia receptor-satélite.

La distancia receptor-satélite en un momento dado viene dado por un determinado número de longitudes de onda  $N$ , denominado ambigüedad, más una cierta parte de longitud de onda que es lo que en realidad se observa.

El desfase puede variar entre 0 y  $2\pi$ . Cuando crece y alcanza los  $2\pi$  se pone a cero y se aumenta  $N$ . De la misma manera cuando decrece y llega a 0 se decrementa  $N$ .

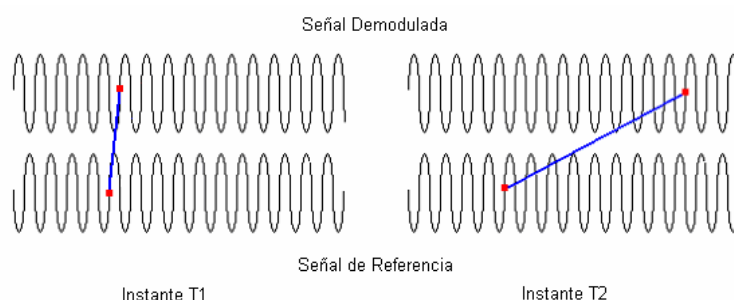
La parte crítica del sistema es no perder el seguimiento de la fase, para que  $N$  (ambigüedad inicial) no pueda variar. Cuando el seguimiento se rompe se tiene una pérdida de ciclos (cycles slip) que puede restaurarse posteriormente mediante ajustes polinómicos.

El valor de  $N$  se obtiene posteriormente en el proceso de cálculo, donde también se obtienen los retardos debidos a los relojes y los incrementos de coordenadas entre receptores.

La resolución del sistema de ecuaciones que se plantean en la observación simultánea de un satélite permite eliminar los errores del reloj del satélite. Este método se denomina de *simples diferencias*.

Si lo que se plantean son las ecuaciones de dos satélites, el método se denomina de *dobles diferencias* y permiten eliminar los cycles slips, los errores del reloj del satélite, los del receptor, errores orbitales y otros que presentan magnitudes similares.

Un tercer método de *triples diferencias*, planteando las ecuaciones obtenidas por la recepción de dos satélites en dos posiciones, permite eliminar los errores anteriores y además la ambigüedad.



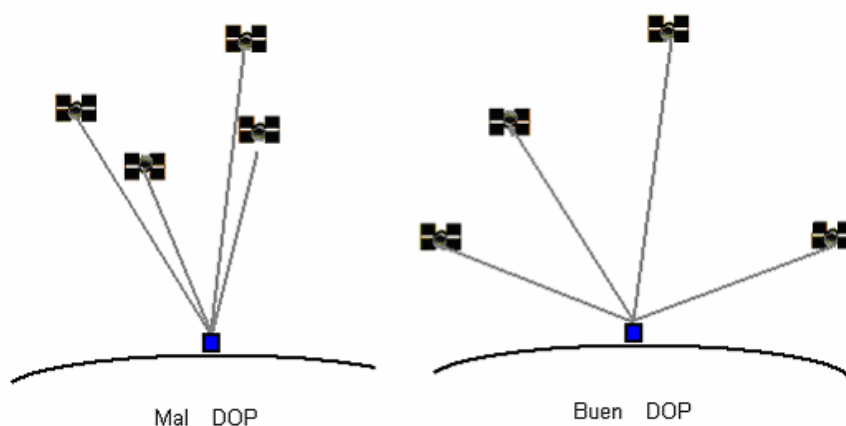
#### 2.2.1.4 Errores del sistema GPS

La precisión del sistema GPS es función de los errores inherentes al sistema. Por una parte tenemos el que se tiene en el cálculo de la distancia receptor-satélite (UERE) y por otra el debido a la configuración geométrica de los satélites con respecto al receptor (DOP). El UERE (User Equivalenty Range Error) es debido a diferentes errores sistemáticos:

- en lo satélites, debidos a errores en las efemérides y en los relojes.
- en el receptor, debido a errores en el reloj y el desconocimiento de una posición aproximada que permita una linealización de las ecuaciones.
- debidos al medio de propagación, principalmente la ionosfera y troposfera.

El error debido al UERE puede variar, según se utilice el código C/A o el P, fundamentalmente en el error debido al medio de propagación ya que las frecuencias de ambos códigos son diferentes.

El error debido al DOP (Dilution Of Precision) es puramente geométrico. Según la configuración que presenten los satélites respecto del receptor la incertidumbre de la posición puede ser mejor o peor. DOP es un valor adimensional que multiplica al error debido a la determinación de la distancia (UERE) y que por tanto su valor ideal es 1. Su peor valor es 6, a partir del cual se suspende la observación.



### **2.2.1.5 Mensajes del GPS**

La comunicación con el dispositivo GPS se realiza mediante mensajes, el dispositivo utilizado responde a dos tipos de formatos de mensajes, los mensajes NMEA y los mensajes SIRF.

El sistema de comunicación estándar de los dispositivos GPS es mediante los mensajes NMEA. Este dispositivo permite recibir los siguientes mensajes:

|       |                                          |
|-------|------------------------------------------|
| GPGBA | Global positioning System Fixed Data     |
| GPGLL | Geographic Position – Latitude/Longitude |
| GPGBA | GNSS DOP and Active Satellites           |
| GPGBV | GNSS Satellites in View                  |
| GPRMC | Recommended Minimum Specific GNSS Data   |
| GPVTG | Course Over Ground and Ground Speed      |

Para el presente proyecto los únicos mensajes de interés son: GPRMC, GPGLL y el GPGBA ya que son los únicos que mandan información de la posición del dispositivo.

#### **2.2.1.5.1 Mensajes NMEA**

Los mensajes NMEA son una cadena de texto ASCII los cuales comienzan la transmisión con el carácter \$ seguidos del identificador del mensaje y sus diferentes parámetros separados por comas, tras el último parámetro del mensaje se sitúa el carácter \* el cual indica que los dos siguientes caracteres son el checksum, utilizado para comprobar que la transmisión de la trama es correcta, para finalizar la trama se reciben los caracteres retorno de carro y fin de línea (caracteres 13 y 10).

### 2.2.1.5.1.1 Mensaje GPGLL

| Name                   | Example    | Units  | Description                       |
|------------------------|------------|--------|-----------------------------------|
| Message ID             | \$GPGLL    |        | GLL protocol header               |
| UTC Position           | 161229.487 |        | hhmmss.sss                        |
| Latitude               | 3723.2475  |        | ddmm.mmmm                         |
| N/S Indicator          | N          |        | N=north or S=south                |
| Longitude              | 12158.3416 |        | dddmm.mmmm                        |
| E/W Indicator          | W          |        | E=east or W=west                  |
| Position Fix Indicator | 1          |        | See Table 2-1                     |
| Satellites Used        | 07         |        | Range 0 to 12                     |
| HDOP                   | 1.0        |        | Horizontal Dilution of Precision  |
| MSL Altitude           | 9.0        | meters |                                   |
| Units                  | M          | meters |                                   |
| Geoid Separation       |            | meters |                                   |
| Units                  | M          | meters |                                   |
| Age of Diff. Corr.     |            | second | Null fields when DGPS is not used |
| Diff. Ref. Station ID  | 0000       |        |                                   |
| Checksum               | *18        |        |                                   |
| <CR><LF>               |            |        | End of message termination        |

Table 2-1 Position Fix Indicator

| Value | Description                           |
|-------|---------------------------------------|
| 0     | Fix not available or invalid          |
| 1     | GPS SPS Mode, fix valid               |
| 2     | Differential GPS, SPS Mode, fix valid |
| 3     | GPS PPS Mode, fix valid               |

### 2.2.1.5.1.2 Mensaje GPGLL

| Name          | Example    | Units | Description                      |
|---------------|------------|-------|----------------------------------|
| Message ID    | \$GPGLL    |       | GLL protocol header              |
| Latitude      | 3723.2475  |       | ddmm.mmmm                        |
| N/S Indicator | N          |       | N=north or S=south               |
| Longitude     | 12158.3416 |       | dddmm.mmmm                       |
| E/W Indicator | W          |       | E=east or W=west                 |
| UTC Position  | 161229.487 |       | hhmmss.ss                        |
| Status        | A          |       | A=data valid or V=data not valid |
| Checksum      | *2C        |       |                                  |
| <CR><LF>      |            |       | End of message termination       |

### 2.2.1.5.1.3 Mensaje GPRMC

| Name               | Example    | Units   | Description                      |
|--------------------|------------|---------|----------------------------------|
| Message ID         | \$GPRMC    |         | RMC protocol header              |
| UTC Position       | 161229.487 |         | hhmmss.sss                       |
| Status             | A          |         | A=data valid or V=data not valid |
| Latitude           | 3723.2475  |         | ddmm.mmmm                        |
| N/S Indicator      | N          |         | N=north or S=south               |
| Longitude          | 12158.3416 |         | dddmm.mmmm                       |
| E/W Indicator      | W          |         | E=east or W=west                 |
| Speed Over Ground  | 0.13       | knots   |                                  |
| Course Over Ground | 309.62     | degrees | True                             |
| Date               | 120598     |         | ddmmyy                           |
| Magnetic Variation |            | degrees | E=east or W=west                 |
| Checksum           | *10        |         |                                  |
| <CR><LF>           |            |         | End of message termination       |

### 2.2.1.6 Conexión del GPS

El GPS utilizado es de la familia RGM-3000XX00XX.

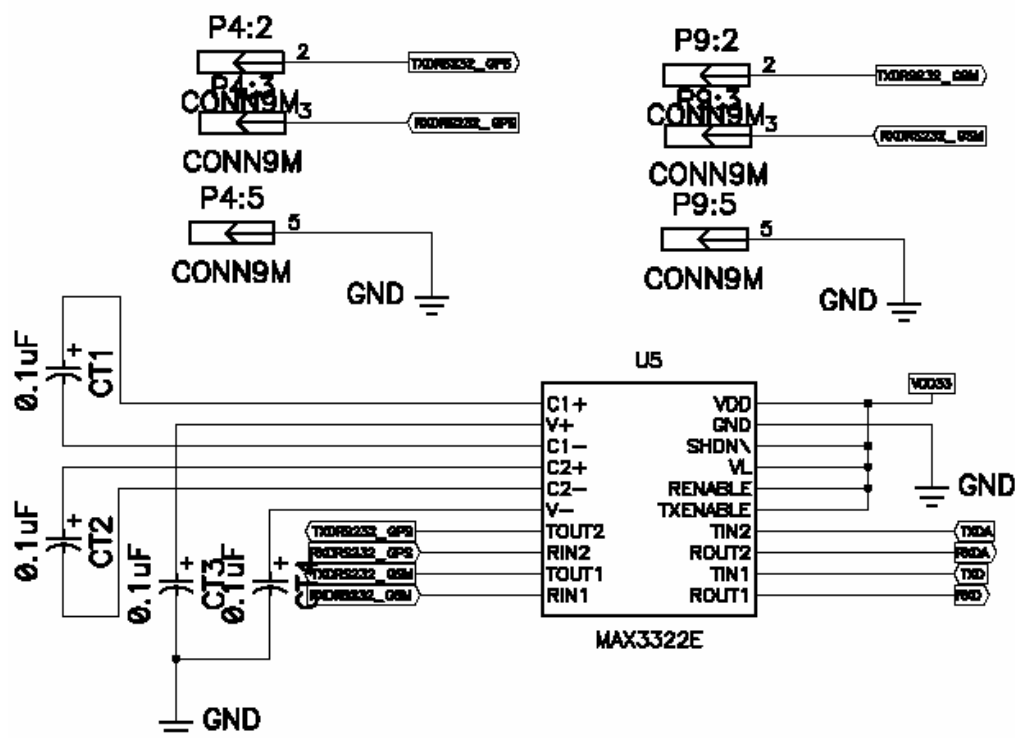
Este dispositivo trabaja con una alimentación de 3.3 voltios admitiendo una tolerancia de un  $\pm 10\%$  y un rizado máximo de 200mV. Los puertos de comunicación series trabajan igualmente con tecnología de 3.3V.



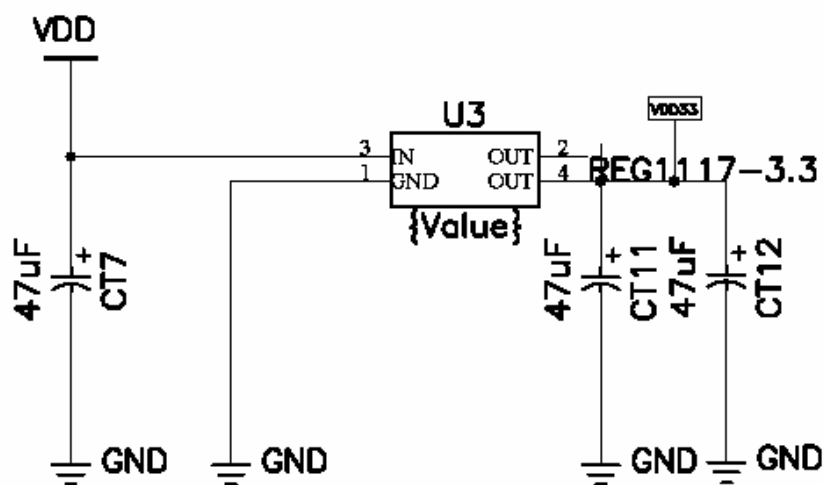
***GPS utilizado en el presente proyecto***

Para hacer el sistema de posicionamiento del móvil lo más general posible la conexión del GPS al dispositivo se realizará mediante conexión RS232, ya que gran parte de los GPS comerciales traen este tipo de conexión para su utilización, la única restricción a tener en cuenta es que la velocidad de comunicación se pueda realizar a 9600 baudios, ya que dispositivos GPS más antiguos envían los datos a una velocidad de transmisión fija de 4800 baudios.

El sistema de GPS recibe la alimentación directamente de la parte del prototipo desarrollado, este trabaja con una alimentación de 5V como se indica en el apartado [Fuente de alimentación](#) del presente documento, esto pone de manifiesto la necesidad de usar convertidores de nivel tanto para la alimentación como para la transmisión de los datos como se muestra en los siguientes esquemáticos:



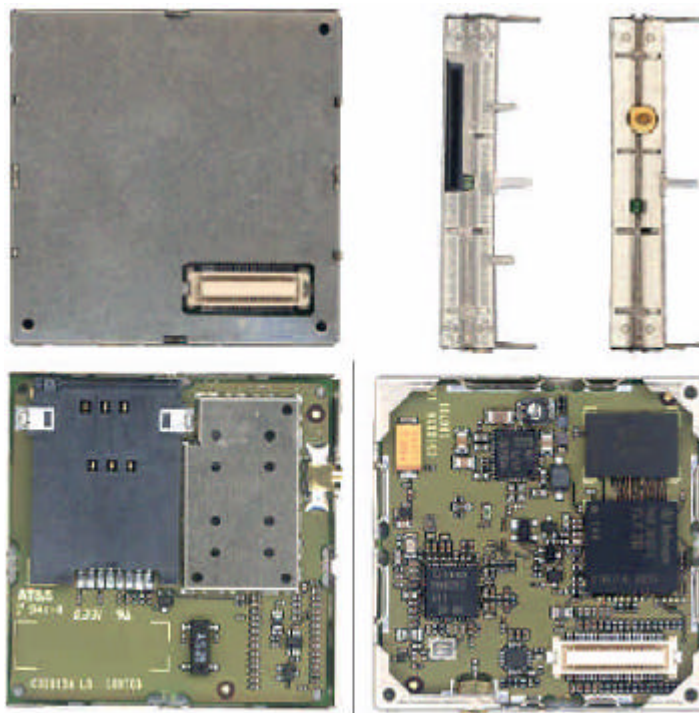
*Convertidor de niveles CMOS (3.3V) a RS232*



*Regulador para pasar la alimentación de 5V a 3.3V*

### 2.2.2 El sistema GSM

El medio de comunicación utilizado para recibir y enviar datos a la base es mediante mensaje de texto corto (SMS), para ello el dispositivo diseñado dispone de un teléfono móvil, el GM862-PCS.



Este teléfono trabaja con una alimentación de 3.8V, utiliza el juego de comandos AT estándar, soporta GPRS, es posible incorporarle un dispositivo Bluetooth e incluso una pequeña cámara digital.

La comunicación del dispositivo diseñado con el teléfono se realiza a través de un puerto serie. En el presente proyecto solo se hace uso de los comandos AT para la comunicación con la base a través de mensajes SMS.

### **2.2.2.1 Los comandos AT**

La comunicación con el teléfono se realiza mediante comandos AT, estos comandos son cadenas ASCII que comienzan con los caracteres AT y usan como carácter terminador de cadena el carácter 13 (<CR>). Con el uso de estos comandos se puede enviar/leer un mensaje de texto corto (SMS), mandar mensajes MMS (si el teléfono dispone de la tecnología necesaria), consultar la agenda o incluso hacer una foto con la cámara incorporada.

En el presente proyecto solamente se utilizan los comandos AT necesarios para realizar la inicialización del teléfono y aquellos comandos que tienen que ver con el envío y recepción de mensajes SMS en formato PDU.

#### **2.2.2.1.1 Comandos AT de inicialización**

Antes de poder enviar mensajes es necesario mandar una serie de comandos AT para preparar el teléfono:

##### **2.2.2.1.1.1 Comando AT**

Con este comando se comprueba el estado del teléfono.

Envío AT <CR><LF>

Recepción:

- <CR><LF>OK<CR><LF> Indica que la transmisión del teléfono es correcta
- <CR><LF>ERROR<CR><LF> Indica que la transmisión del teléfono es errónea o el teléfono no se encuentra preparado para transmitir.

El uso de este comando en el encendido del teléfono hace que éste sincronice la velocidad de transmisión de datos a la del dispositivo que le envió el comando. Esto es específico de este teléfono.

#### **2.2.2.1.1.2 Comando AT+IPR**

Este comando sirve para fijar la velocidad de transmisión. Una vez que se realiza el encendido del teléfono y enviado el comando AT, una vez que llegue la respuesta del teléfono (OK) es aconsejable fijar la velocidad de transmisión para asegurar la correcta comunicación con el móvil, para ello se envía la trama:

AT+IPR=bps<CR><LF>

Bps puede ser la cadena ASCII: 300, 1200, 2400 ,4800 ,9600 ,19200 ,38400 ,57600 o 115200. Para este proyecto la velocidad de transmisión es fijada a 9600 bps.

La respuesta del teléfono es:

|                       |                                         |
|-----------------------|-----------------------------------------|
| <CR><LF>OK<CR><LF>    | Velocidad fijada correctamente.         |
| <CR><LF>ERROR<CR><LF> | No se ha podido establecer la velocidad |

Nota:

Teléfonos antiguos como los M1 de Siemens no soportan este comando y como resultado mandan el mensaje de ERROR.

#### **2.2.2.1.1.3 Comando AT+CPIN**

Para que el teléfono funcione a pleno rendimiento es necesario introducir el PIN de la tarjeta SIM, en caso de que no se introduzca muchos comandos AT darán de respuesta ERROR, como por ejemplo los comandos relacionados con el manejo de los mensajes SMS.

Este comando tiene dos modos de uso, preguntar por el estado del PIN e introducir el PIN o el PUK en el caso de que fuera necesario.

Para preguntar por el estado en que se encuentra el teléfono la trama a enviar sería la siguiente:

AT+CPIN?<CR><LF>

Las posibles respuestas son:

|                                              |                                               |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| +CPIN: SIM PIN<CR><LF><br><CR><LF>OK<CR><LF> | Esperando introducción de código PIN.         |
| +CPIN: SIM PUK<CR><LF><br><CR><LF>OK<CR><LF> | Necesita de la introducción del código PUK.   |
| +CPIN: READY<CR><LF><br><CR><LF>OK<CR><LF>   | No es necesario el código PIN, SIM preparada. |
| +CME: ERROR 10<CR><LF><br><CR><LF>OK<CR><LF> | La SIM no está presente.                      |
| +CME: ERROR 13<CR><LF><br><CR><LF>OK<CR><LF> | SIM defectuosa                                |
| +CME: ERROR 14<CR><LF><br><CR><LF>OK<CR><LF> | La SIM está ocupada                           |
| +CME: ERROR 15<CR><LF><br><CR><LF>OK<CR><LF> | SIM no compatible con GSM                     |

Para introducir el código PIN o el PUK la trama a transmitir sería:

AT+CPIN=Código PIN/PUK<CR><LF>

Las posibles respuestas del teléfono son:

|                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| <CR><LF>OK<CR><LF>    | PIN/PUK introducido correctamente |
| <CR><LF>ERROR<CR><LF> | Código de PIN/PUK incorrecto      |

Tras una introducción correcta del código correspondiente el teléfono tarda en configurarse internamente alrededor de 20s.

Para este tipo de aplicaciones es aconsejable desactivar la petición del código PIN de la tarjeta SIM.

#### 2.2.2.1.1.4 Comando AT+CNMI

Con este comando la intención es activar un evento para que cada vez que el teléfono reciba un SMS le indique al sistema de posicionamiento del móvil que un mensaje de texto ha llegado y que el sistema de posicionamiento proyectado lo atienda cuando acabe con la tarea desarrollada en ese momento.

Este comando tiene muchas formas de configuración, para los fines del presente proyecto la configuración más apropiada es enviando la trama:

AT+CNMI=2,1<CR><LF>

Posibles respuestas del teléfono:

|                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| <CR><LF>OK<CR><LF>    | Transmisión correcta    |
| <CR><LF>ERROR<CR><LF> | Error en la transmisión |

Cuando un SMS es recibido, el teléfono envía el siguiente mensaje por el puerto serie:

+CMTI: <memr>,<index><CR><LF><OK><CR><LF>

Siendo memr la posición donde se ha almacenado el mensaje, en nuestro caso “SM”, es decir en la SIM, e index la posición dentro de la SIM donde ha sido alojado.

#### 2.2.2.1.1.5 Comando AT+CSCA

Con este comando se establece el teléfono del servidor de mensajería, por defecto este valor viene grabado en la SIM y no es necesario actualizarlo, no obstante cuando los comandos AT para el envío de mensaje fallan siempre es bueno comprobar si el teléfono a tomado este dato de la SIM y de no ser así debido a fallos en el teléfono o en la propia SIM, poder introducir este número a mano usando este comando.

Al igual que el comando anterior, y como la mayoría de los comandos AT, se puede preguntar por su configuración mandando la cadena:

AT+CSCA?<CR><LF>

El teléfono responderá con una cadena como sigue:

+CSCA:“<numero>”,<tipo><CR><LF>OK<CR><LF>

Donde número es el número de la central de mensaje y si se usa el envío en modo internacional vendrá precedido por +Código del país que para España es +34. El tipo puede tener los siguientes valore:

145: Indica que el número es internacional, es decir precedido de ‘+’

126: Número nacional.

Si lo que queremos es introducir el número de la central de mensajería la trama sería:

AT+CSCA=”número”<CR><LF>

Si el número comienza por ‘+’ el teléfono toma el número como internacional.

La respuesta del teléfono será:

|                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| <CR><LF>OK<CR><LF>    | Transmisión correcta    |
| <CR><LF>ERROR<CR><LF> | Error en la transmisión |

### **2.2.2.1.2 Comandos AT de configuración**

Antes de poder usar el teléfono es necesario realizar una configuración previa, para ello además de los comandos de inicialización es necesario usar otros comandos que únicamente necesitan ser introducidos una vez.

Los pasos tras el encendido del teléfono serían los siguientes:

- Comando AT, para que el teléfono fije la velocidad de transmisión
- AT+IPR=9600, fijamos la velocidad.
- AT+CPIN=Código PIN

Estos comandos ya han sido comentados, los nuevos son:

#### **2.2.2.1.2.1 Comando ATE0**

El teléfono por defecto efectúa un eco de la trama que le enviamos, con este comando desactivamos dicho eco facilitando el trabajo de la programación del microcontrolador. La trama sería:

ATE0<CR><LF>

La respuesta esperada es OK o ERROR

#### **2.2.2.1.2.2 Comando ATS3**

Con este comando le indicamos que los caracteres de finalización de trama serán los caracteres 13 y 10, es decir <CR> y <LF>, ya que por defecto con el carácter <CR> sería necesario, pero como se vio anteriormente en el apartado [Mensajes NMEA](#) al trabajar con estos mensajes el fin de cadena se realiza con los caracteres <CR><LF> por lo que de esta forma se automatiza el proceso y no se da pie a posibles equivocaciones.

Por todo lo dicho la trama que se necesita enviar al teléfono es:

ATS3=13<CR><LF>

La respuesta del teléfono es OK o ERROR.

#### **2.2.2.1.2.3 Comando AT+CMGF**

Este comando es el más importante de todos, es el que fija que formato de mensajes se va a utilizar para los mensajes cortos (SMS).

El sistema GSM permite dos tipos de formato para los SMS, el formato de texto y el formato PDU. Con el formato de texto sólo podemos mandar caracteres imprimibles ASCII, es decir no podemos mandar caracteres binarios del tipo “1” o “0”, mientras que el formato PDU si lo permite. En el presente proyecto se ha hecho uso del formato PDU para el envío/recepción de los mensajes SMS, por lo que la trama de configuración es

AT+CMGF=0<CR><LF>

La respuesta esperada es OK o ERROR.

#### **2.2.2.1.2.4 Comando AT&W**

Por último, para no tener que introducir toda la configuración cada vez que se encienda el teléfono solo queda salvarla, para ello se hace uso del presente comando, siendo la trama a transmitir

AT&W<CR><LF>

Y la respuesta esperada OK o ERROR.

#### **2.2.2.1.3 El formato PDU**

Como ya se ha comentado anteriormente si es necesario enviar carácter de tipo binario como puede ser el carácter 00 o el carácter 01, se hace necesario el uso del formato PDU, que por otra parte es que el usan todos los teléfono móviles en la actualidad.

Este formato puede usar tres tipos de codificación de texto distinta con la misión de poder enviar el máximo número de información posible:

- Codificación de 7 bits. Tiene una capacidad máxima de 160 caracteres, se usa una codificación del abecedario propia.
- Codificación de 8 bits. Tiene una capacidad máxima de 140 caracteres usando la típica codificación de la tabla ASCII que presentan los ordenadores.
- Codificación de 16 bits. Tiene una capacidad máxima de 70 caracteres, se usa el formato unicode pensado para los países asiáticos

En el presente proyecto la cadena a transmitir máxima es un mensaje NMEA, y este no es mayor a 80 caracteres por lo que por sencillez se ha usado la codificación de 8 bits.

### **2.2.2.1.3.1 Formato PDU para recepción de mensajes**

Una cadena PDU no contiene solo el mensaje, sino que también contiene mucha meta información sobre el servicio de mensajería que envió el mensaje (SMSC), fecha de envío... Toda la información se encuentra codificada en octetos hexagesimales/decimales o en semi-octetos decimales. Un ejemplo de cadena PDU recibida es:

07917283010010F5040BC87238880900F10000993092516195800AE8329BFD4  
697D9EC37

Este mensaje se compone de tres partes:

- 1º Parte: octeto inicial que indica el tamaño de la información del SMSC, en este caso 07
- 2º Parte: la información del SMSC

91: indica que el número se encuentra en formato internacional

7283010010F5: Número del SMSC, que sería +27381000015

- 3º Parta: SMS enviado

04: Primer octeto del SMS enviado

0B: Tamaño del número a quien se envió el mensaje (11 caracteres)

C8: Tipo de codificación del número (internacional)

7238880900F1: Número a quien va dirigido el mensaje (+27838890001)

00: Protocolo identificador, indica que se guarde tal y como se ha recibido

00: Tipo de codificación ( 7 bits)

99309251619580: fecha (año 99, mes 03, día 29, hora 15, min 16, seg 59  
uso horario 08 \* 15(min)

0A: Longitud del mensaje

## E8329BFD4697D9EC37: Mensaje en formato 7 bits

En este caso la codificación de 7 bits se realiza como se muestra en la tabla siguiente:

| h       | e               | l               | l               | O               | h               | E               | l              | L       | o               |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------|-----------------|
| 104     | 101             | 108             | 108             | 111             | 104             | 101             | 108            | 108     | 111             |
| 1101000 | 1100101         | 1101100         | 1101100         | 1101111         | 1101000         | 1100101         | 1101100        | 1101100 | 1101111         |
| 1101000 | 110010 <b>1</b> | 11011 <b>00</b> | 1101 <b>100</b> | 110 <b>1111</b> | 11 <b>01000</b> | 1 <b>100101</b> | <b>1101100</b> | 1101100 | 110111 <b>1</b> |

Y realizando la rotación de bits se llega a que los octetos son:

|                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |        |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------|
| <b>1</b> 1101000 | <b>00</b> 110010 | <b>100</b> 11011 | <b>1111</b> 1101 | <b>01000</b> 110 | <b>100101</b> 11 | <b>1101100</b> 1 | <b>1</b> 1101100 | 110111 |
| E8               | 32               | 9B               | FD               | 46               | 97               | D9               | EC               | 37     |

Que como se comprueba el mensaje recibido es *hellohello*, para decodificar el mensaje solo se tiene que aplicar el algoritmo a la inversa.

De las tres partes que componen la recepción de un mensaje en formato PDU, las 2 primeras son opcionales, teléfonos antiguos como el M1 de Siemens o el Ericsson 888 estos bytes son omitidos. El teléfono utilizado para la creación del prototipo del presente proyecto si envía las tres partes del mensaje PDU.

### 2.2.2.1.3.2 Formato PDU para el envío de mensajes

La trama PDU para enviar un mensaje está compuesta de más información a parte del texto en sí del mensaje, un ejemplo de esto es la siguiente trama:

0011000B916407281553F80000AA0AE8329BFD4697D9EC37<ctrl-z>

Los diferentes campos que componen esta cadena son:

- 00: Longitud de la información sobre el SMSC, si es 0 significa que se usará la información del SMSC guardada en el teléfono. Este primer byte no se toma en consideración a la hora de calcular el tamaño de la trama PDU. Este parámetro es opcional en ciertos teléfonos como en los M1 de Siemens no se debe de poner.

- 11: Primer octeto del SMSC receptor.
- 00: Referencia del mensaje
- 0B: Longitud del número de teléfono a quien va dirigido el SMS
- 91: Tipo de codificación del número (internacional)
- 6407281553F8: Número del destinatario ( +46708251358)
- 00: Protocolo identificador
- 00: Tipo de codificación ( 7 bits)
- AA: Periodo en el que estará vigente el mensaje (4 días)
- 0A: Tamaño del mensaje
- E8329BFD4697D9EC37: el mensaje que al igual que antes es *hellohello*
- <control-z> Es el carácter fin de cadena, el cual corresponde con el código ASCII 1Ah

### 2.2.2.1.3.3 Codificación del número de teléfono en el sistema PDU

Las cadenas PDU son cadenas ASCII cuyos caracteres corresponden con valores hexagesimales, es decir los caracteres válidos son (0-9) y del (A-F). En ciertas tramas como el timestamp o número del teléfono usan el sistema BCD con los octetos girados, es decir para indicar el número “64” en la trama debería de aparecer la cadena “46”.

Centrándonos en la nomenclatura utilizada para decodificar los números de teléfonos, este tiene que tener un tamaño múltiplo de 2, en caso contrario se le incorpora una F al final de la cadena, un ejemplo sería:

Teléfono 34646335160 compuesto de 11 caracteres, al no ser múltiplo de 2 se le añade una F quedando el número 34646335160F.

Si dividimos la cadena por octetos quedaría:

34 64 63 35 16 0F

E invirtiendo el orden de los octetos la cadena final queda: 43 46 36 53 61 F0, y es la que debería de aparecer en las tramas de envío y recepción en el formato PDU.

#### **2.2.2.1.4 Comandos AT para envío y lectura de mensajes SMS**

Para gestionar el uso de los mensajes SMS se hará uso de una serie de comandos AT con los que poder comprobar cuantos mensajes tenemos, leer mensajes, enviar mensajes y lo más importante antes de enviar un mensaje comprobar si hay cobertura

##### **2.2.2.1.4.1 Comando AT+CREG?**

Con este comando podemos conocer el estado de la cobertura, la trama a enviar es:

AT+CREG?<CR><LF>

El teléfono en este caso puede devolver muchas posibilidades, la única que indica que tenemos cobertura para poder enviar un mensaje es:

+CREG: 0,1<CR><LF>OK<CR><LF>

Cualquier otra respuesta del teléfono es tratada como error, es decir falta de cobertura para poder realizar en envío del mensaje. Para más información sobre este comando ver el documento adjunto con el proyecto *1vv0300617\_GM862-PCS-GPRS-GSM\_Software\_User\_Guide\_issue3.pdf*

##### **2.2.2.1.4.2 Comando AT+CMGR**

Para poder leer los mensajes almacenados en el teléfono usamos este comando AT, la trama de transmisión sería:

AT+CMGR=<index><CR><LF>

Donde <index> es lugar donde se encuentra almacenado el SMS dentro de la SIM.

+CMGR: <estado> ,<longitud> <CR><LF>

<PDU><CR><LF>OK<CR><LF>

Donde:

<estado>: indica el estado del mensaje puede tener los siguientes valores:

- 0: mensaje nuevo.
- 1: mensaje leído
- 2: mensaje guardado pero no enviado
- 3: mensaje guardado y enviado
- 

<longitud>: es la longitud del mensaje en bytes.

<PDU>: es el mensaje recibido en formato PDU, para más información volver a consultar el apartado [El formato PDU](#)

#### 2.2.2.1.4.3 Comando AT+CMGS

Con este comando se realizan los envíos de los mensajes SMS. La forma de usar este comando usando el formato PDU para en envío de mensajes es el siguiente:

AT+CMGS=<num bytes><CR><LF>

Espera por la recepción de los caracteres "> " luego se realiza el envío de la cadena PDU como se indica en el apartado [El formato PDU](#)

<num bytes> : es la longitud en bytes de la trama PDU a enviar

Si el envío tiene éxito el teléfono responde con la cadena:

+CMGS: <mr><CR><LF>OK<CR><LF>

Donde <mr> es la referencia del mensaje. En caso de no poderse enviar un código de error es recibido.

#### 2.2.2.1.4.4 Comando AT+CMGD

La tarjeta SIM dispone de una capacidad limitada para el almacenamiento de los mensajes SMS, la cual puede oscilar entre 25 y 50 mensajes. Esto pone de manifiesto la

necesidad de borrar los mensajes una vez procesados, para ellos se utiliza el comando AT+CMGD, cuyo formato de uso es:

AT+CMGD=<index><CR><LF>

Donde <index> es la posición en decimal donde ha sido almacenado el mensaje a borrar dentro de la tarjeta SIM.

Si la operación ha tenido éxito el teléfono devuelve OK en caso contrario ERROR.

#### **2.2.2.1.4.5 Comando AT+CPMS**

Con el comando AT+CPMS se puede conocer el número de mensajes guardados en el teléfono, la forma de uso es:

AT+CPMS?<CR><LF>

La respuesta del teléfono es:

+CPMS: "SM",<usados>,<total>,"SM",<usados>,<total>,"SM",<usados>,<total>

<CR><LF>OK<CR><LF>

Donde <usados>: indica el número de mensajes alojados en la SIM

<total>: indica el número máximo de mensajes que se pueden guardar.

#### **2.2.2.2 Conexión del Teléfono al sistema de posicionamiento**

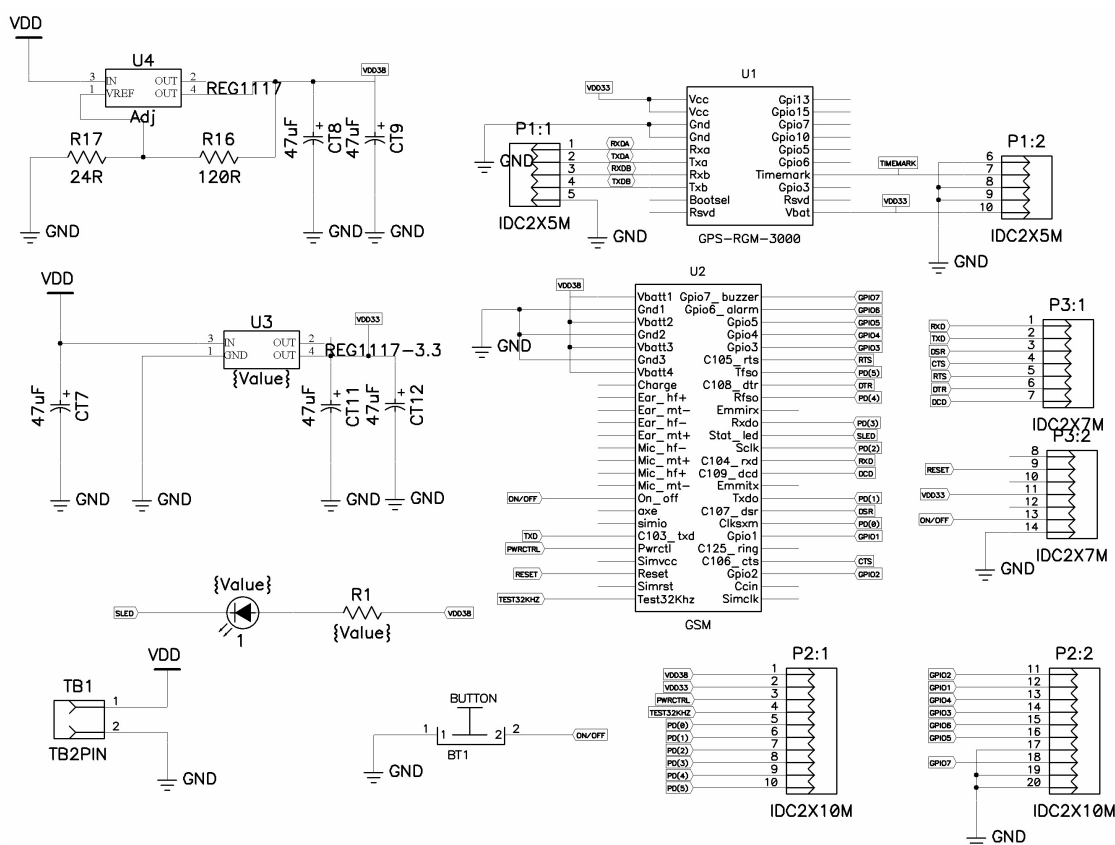
Como se mostraba en la figura del apartado [El sistema GSM](#), el teléfono utilizado no es un celular como lo puede ser el C45 de Siemens o el Nokia 3210, si no que es un componente que necesita de alimentación y adaptadores de impedancia para su uso.

El dispositivo de posicionamiento del móvil se ha diseñado de manera que sea lo más genérico posible, por lo que la comunicación con el teléfono GSM se realiza mediante un puerto serie con el protocolo de comunicación RS232, de esta forma se podría usar otro tipo de teléfono simplemente cambiando la configuración interna de la

placa como se verá más detalladamente en el presente documento. Por todo esto se ha realizado una pequeña placa aparte donde se encuentran implementados tanto nuestro teléfono GSM como el GPS.

El teléfono GSM necesita de una alimentación de 3.8V y la tecnología que usa de comunicación es tecnología CMOS (3.3V) al igual que el GPS, por lo que hace necesario realizar una transformación de niveles CMOS a niveles RS232 como se vio anteriormente en apartado del GPS.

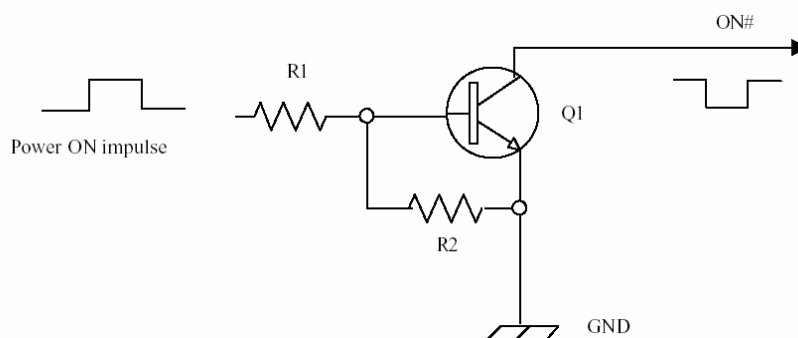
El esquemático realizado para dicha placa es el siguiente:



Por otra parte se dispone de dos líneas con lo que poder controlar el encendido y reset del teléfono, de esta manera ante un posible cuelgue del teléfono, la aplicación es capaz de detectarlo y resetearlo y de esta manera seguir funcionando de forma normal. Estas líneas son las siguientes:

- Encendido del sistema:

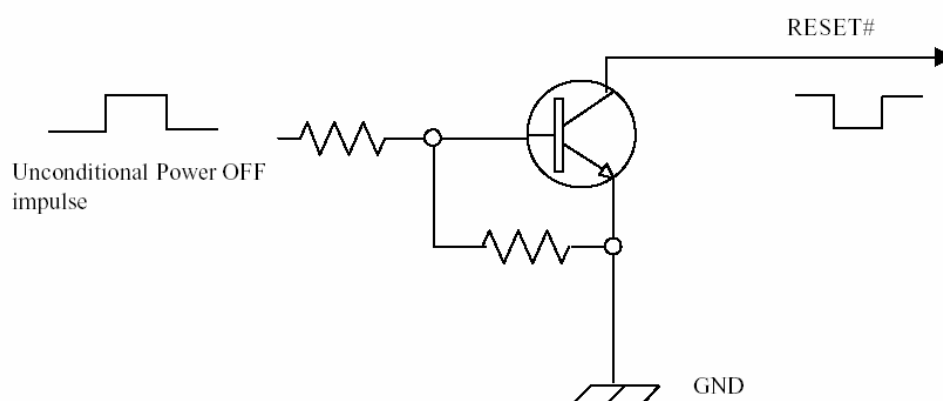
Para conseguir realizar el encendido del teléfono, el pin ON# debe de mantenerse en nivel bajo durante 1 segundo, y en ese tiempo no puede consumir más de 0.1mA, el esquema de conexión seguido es el que se muestra en la figura:



Donde R1 es igual a R2 e igual a  $47K\Omega$

- Reset del sistema

Para realizar un apagado incondicional del teléfono se dispone de la patilla RESET#, esta debe de mantenerse a nivel bajo un mínimo de 200ms y durante ese período no puede consumir mas de 0.15mA.



Las resistencias al igual que en el esquema anterior son del mismo valor e iguales a  $47K\Omega$

### 2.2.3 El microcontrolador

Para realizar la decodificación y gestión de los diferentes mensajes del GMS y el GPS se ha utilizado como corazón del sistema el microcontrolador AT89C51ID2-IM.

Este microcontrolador pertenece a la familia 8051, está compuesto por:

- 4 Puertos de entrada y salida (formato 44 Pins)
- 3 timers de 16 bits
- 256 bytes de RAM interna paginada
- 10 interrupciones con 4 niveles de prioridad
- 1 Puerto ISP ( In- System Programming)
- Monitor de alimentación ( POR/PFD)
- Posee una arquitectura de alta velocidad:
  - o En modo estándar (12 ciclos de reloj equivalen a 1 ciclo de máquina):
    - 40MHZ
    - 60MHZ
  - o EN modo X2 (6 ciclos de reloj equivalen a un ciclo de máquina):
    - 20MHz
    - 30MHz
- Posee 64K de flash para memoria de programa/datos
- Posee 1.5K de memoria RAM extra denominada XRAM dividida en páginas de 256 bytes.
- Posee 2K de memoria EEPROM para almacenamiento de datos
- Sistema Watchdog
- Un puerto UART con generador de velocidad dedicado

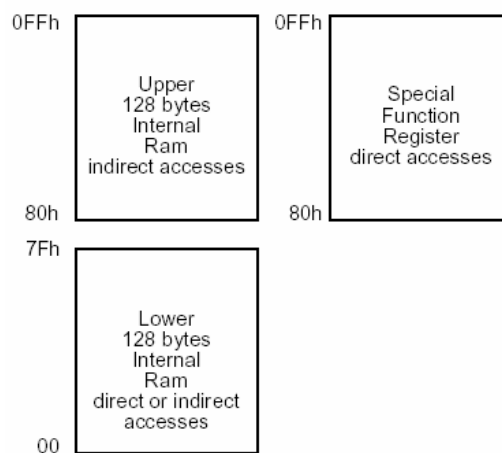
### 2.2.3.1 Cristal usado

El cristal utilizado es un resonador de 60MHz. El ciclo de máquina de este microcontrolador corresponde con la frecuencia del reloj utilizado dividido entre 12, es decir en nuestro caso es de: 200ns.

Esto significa que la instrucción más rápida, el NOP, tardará 200ns en ejecutarse.

### 2.2.3.2 La memoria RAM

El dispositivo utilizado dispone de 256 bytes de memoria RAM interna. El acceso a esta memoria se puede realizar de forma directa o indirecta. Esta memoria se encuentra dividida en 2 zonas de 128 bytes cada una, la parte baja de 00h a 7Fh es accesible de cualquiera de los dos métodos (directo e indirecto), en la parte baja de esta memoria se encuentran los datos de los registros del microcontrolador (R0, R1, ...R7), la parte alta se encuentra paginada y según el tipo de acceso a memoria así se utiliza una zona u otra. Si el acceso a memoria se realiza de manera directa se está accediendo a los registros SFR, es decir es la zona donde se encuentran definidos los diferentes registros de estado del sistema para configurar los diferentes periféricos y puertos (P0, P1,...). Si el acceso lo realizamos por el contrario de forma indirecta se tiene libre uso de los restantes 128 bytes desde la posición 80h a la FFh.



### **2.2.3.3 La memoria XRAM**

El dispositivo AT89C51ID2 dispone internamente de un 1.5KB más de RAM. Esta RAM es conocida en el dispositivo como XRAM y se accede a ella usando las instrucciones de acceder a memoria externa.

Esta memoria se encuentra paginada en páginas de 256 bytes cada una, los registros que se encargan de seleccionar la página correspondiente es el registro AUXR, más concretamente los bits 2,3 y 4 (XRS0, XRS1 y XRS2).

Al usarse las mismas instrucciones para el acceso a memoria externa, para que el microcontrolador conozca a que memoria debe de acceder para leer/escribir, se utiliza el bit 1 del registro anterior ( EXTRAM) si este bit vale 0 el acceso se realiza a XRAM, si por el contrario vale 1, el acceso se realiza a memoria externa.

En el presente proyecto solamente se hace uso de la memoria XRAM para almacenar la cadena NMEA entregada por el GPS.

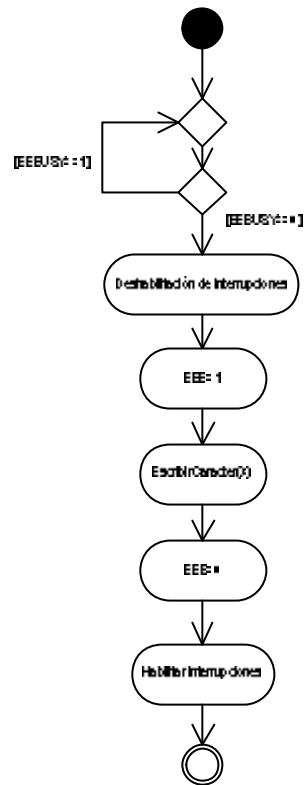
### **2.2.3.4 La Memoria EEPROM**

Este dispositivo también dispone de 2KB de memoria EEPROM, en el que el sistema guardará los datos de configuración como puede ser el código PIN, el teléfono de la base,...

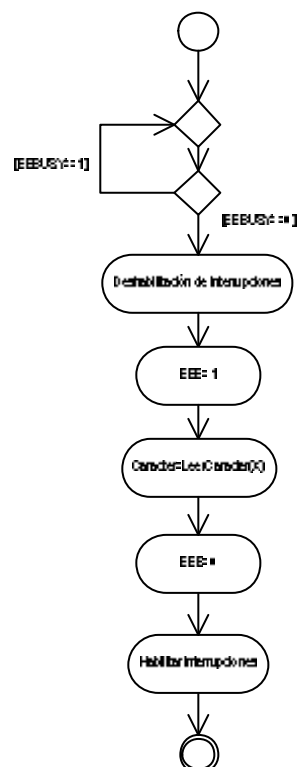
La memoria EEPROM va desde la dirección 0h a la 7FFh. El acceso a esta memoria también se realiza usando las instrucciones del microcontrolador para acceder a la RAM externa, para discernir a que tipo de memoria se quiere acceder se usa el bit EE, si este se encuentra a 1 el acceso se realiza a la EEPROM, en caso contrario el acceso será a XRAM o RAM externa según el caso.

El diagrama de flujo correspondiente a una escritura en EEPROM es:

### Escritura en EEPROM( carácter X)



### Leer en EEPROM( Dirección X)



### **2.2.3.5 Configuración del Timer**

Este microcontrolador dispone de 3 timers de 16 bits. Estos timers se pueden configurar de la siguiente manera:

- Como contador: en el que el contador se incrementa como consecuencia de la detección de elementos externos.
- Como temporizador, en la que el contador es incrementado por la señal del microcontrolador.

Además de esta diferenciación, los timers tienen 4 modos de funcionamiento diferente:

- Modo 0 (Temporizador de 13 bits)
- Modo 1 (Temporizador de 16 bits)
- Modo 2 (Temporizador de 8 bits con recarga automática)
- Modo 3 (Timer1 es un timer de 16 bits y el Timer 0 funciona como 2 contadores de 8 bits)

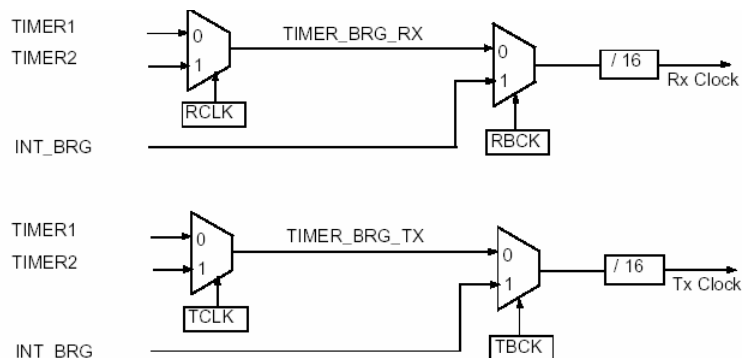
En el presente proyecto solamente se ha hecho uso del timer1 funcionando como temporizador y configurado en modo 1, es decir como contador de 16 bits.

Con este temporizador configurado para que cree una interrupción cada segundo se van controlando los diferentes timeouts necesarios para chequear que todo sigue bien en el sistema.

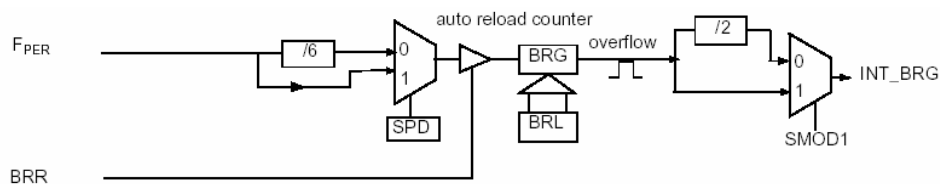
### **2.2.3.6 Configuración de la UART**

Para realizar la comunicación con el PC, GSM y con el GPS utilizamos la UART que posee este dispositivo, configurándola con 8 bits de datos, no paridad y 1 bit de Stop.

Este microcontrolador permite configurar independientemente las velocidades de transmisión y recepción, para este caso se utilizan los timer 1 y 2 como generador de baudrate.



También se puede utilizar un generador interno de baudrate del cual dispone este dispositivo, solo que en este caso la velocidad de transmisión y recepción son las mismas.



Las funciones para el cálculo correcto de la velocidad son:

$$\text{Baud\_Rate} = \frac{2^{\text{SMOD1}} \cdot F_{\text{PER}}}{6^{(1-\text{SPD})} \cdot 32 \cdot (256 - \text{BRL})}$$

$$\text{BRL} = 256 - \frac{2^{\text{SMOD1}} \cdot F_{\text{PER}}}{6^{(1-\text{SPD})} \cdot 32 \cdot \text{Baud\_Rate}}$$

Para el presente proyecto se necesita una velocidad de 9600 baudios, contando con una velocidad de reloj de 60MHz, para esta configuración los valores correctos son:

BRL=61

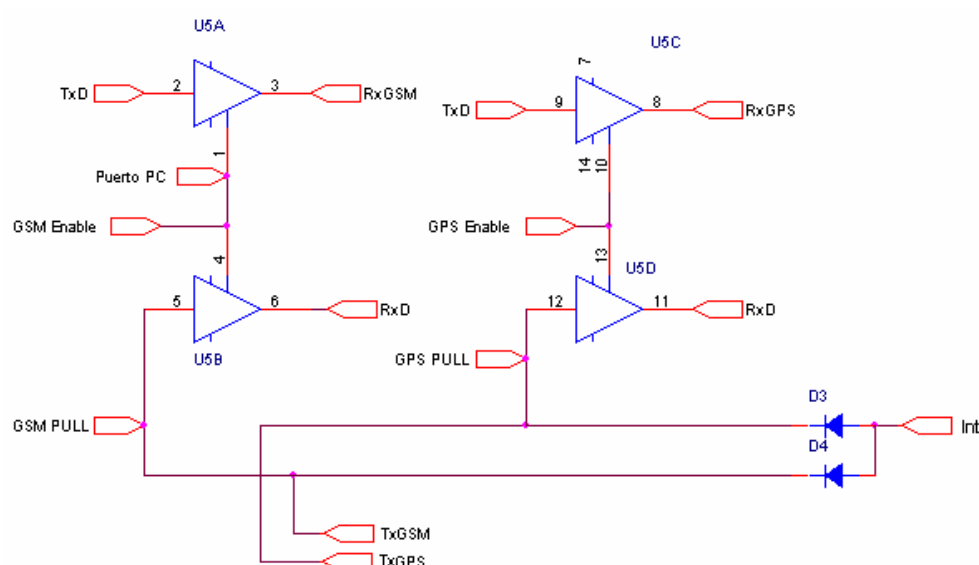
SPD=1

SMOD1=1 y SMOD0=0

El error relativo cometido es del 0.16 %

## 2.2.4 El multiplexor

El sistema desarrollado debe de controlar el dispositivo GPS y el teléfono GSM, ambos dispositivos son controlados mediante puerto serie, y el dispositivo dedicado para ello es el microcontrolador, pero este dispositivo solo posee un puerto UART por lo que se hace necesarios el uso de un dispositivo multiplexor para poder gestionar ambos correctamente.



El núcleo de este esquema es el dispositivo 74125. Este chip está compuesto por cuatro puestas triestados con habilitación a nivel bajo, esto se ha realizado así debido a que el microcontrolador elegido en su encendido pone todos sus pines a nivel alto, y de este modo en ese instante todas las puertas triestados se encuentran en alta impedancia evitando de esta forma un posible corto en el encendido.



El multiplexor proyectado funciona de la siguiente forma:

- Los pines Tx y Rx provenientes de la adaptación de nivel de RS232 a TTL tanto de la transmisión del GPS como la del GSM (TxGSM, TxGPS, RxGSM y RxGPS) van sus respectivas puertas triestados para que solo una pareja Tx y Rx llegue a la UART del microcontrolador ( TxD, RxD).
- Dos pines del microcontrolador son los encargados de realizar la habilitación del par Tx/Rx elegido para atender en ese momento (GSM/ GPS Enable)
- A las señales de transmisión Txs se les realiza una función OR con ayuda de dos diodos como se muestra en el esquema anterior, la línea resultante es conectada a un pin de interrupción externa disponible en este microcontrolador. Esta línea mientras no haya conexión se mantendrá a nivel alto y pasará a nivel bajo cuando se inicie una transmisión por parte de alguno de los dos dispositivos generando la interrupción pertinente y de esta forma conmutar o no el multiplexor para atender al dispositivo.
- Para conocer quien realiza la transmisión se tiene dos líneas de pullin, en este caso son directamente las líneas de transmisión (GSM/GPS PULL).

La secuencia que se realiza a la hora de atender una llamada de uno de los dispositivos es la siguiente:

- 1º- El flanco de bajada presente en la línea de interrupción activa la secuencia de interrupción en el microcontrolador.
- 2º- Como la transmisión es RS232 la línea de transmisión permanece en alto y esta pasa a nivel bajo para indicar que se va a realizar una transmisión (bit de Start), por lo que la línea de pullin correspondiente al dispositivo que generó la transmisión se encontrará a nivel bajo, por lo que en la rutina de interrupción se chequea el estado de estas líneas dando prioridad a las peticiones provenientes

del GSM, se actúa sobre las líneas de habilitación para desactivar primero la línea que no se va a atender y activamos la otra.

3º- Por último se desactiva mediante software la gestión de la interrupción, para evitar que se genere con cada cambio de bit una llamada a ésta, y se vuelve a habilitar cuando se finalice la transmisión.

### 2.2.5 Sistema de visualización

El dispositivo de posicionamiento que se encuentra instalado en el móvil dispone de una serie de sistemas de visualización:

El primero de ellos consta de dos diodos leds para indicar que existe transmisión de datos entre el microcontrolador y los dispositivos

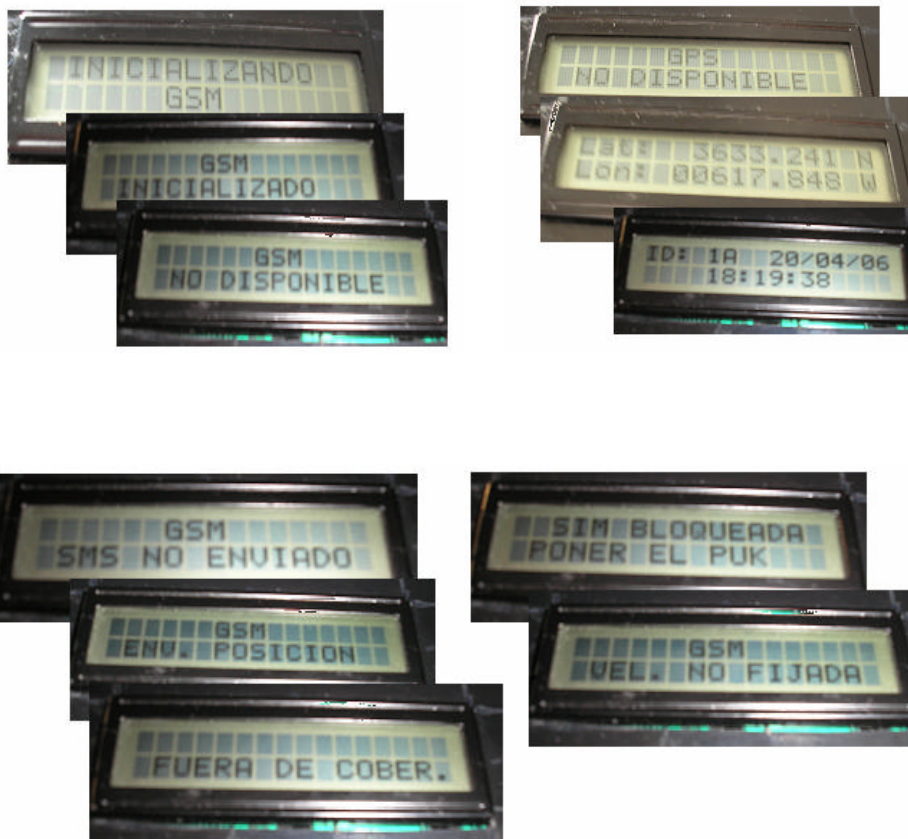


El segundo indicador visual también es otro led, en este caso para indicar la correcta recepción del mensaje NMEA que se ha tomado para calcular la posición del móvil.



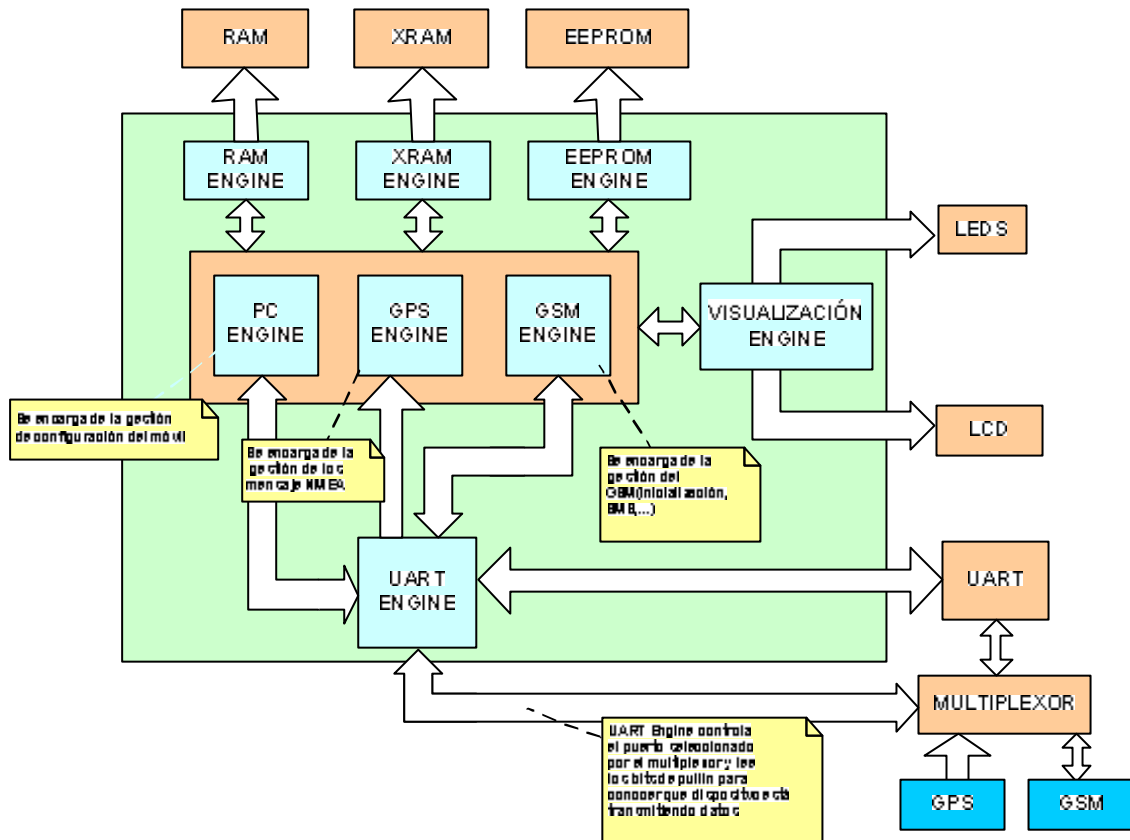
Por último se ha incorporado una pequeña pantalla LCD de 2 líneas por 16 caracteres cada una, en esta pantalla se muestran:

- Datos de posición recibida directamente del GPS sin tratar.
- Identificador del móvil, fecha (si el mensaje NMEA dispone de ello) y hora (UTM)
- Conexión al PC
- Pérdida de conexión con el GSM y GPS
- Estado del envío de los mensajes SMS



## 2.2.6 Principio de funcionamiento del módulo móvil

El dispositivo de posicionamiento del móvil se puede modelizar de la siguiente manera:



Este dispositivo responde a cinco estados distintos: inicialización, configuración, gestión del GSM, gestión del GPS, control de timeout

### 2.2.6.1 Inicialización

Tras el encendido del módulo se realiza la puesta a punto de los diferentes periféricos necesarios para la realización del presente proyecto, por una parte se realiza la inicialización del LCD dejando la pantalla en blanco y sin mostrar el cursor. Posteriormente se realiza la activación del puerto serie el cual se configura con los siguientes parámetros:

9600 bps, 8 bits de datos, no paridad 1 bit de stop y null modem.

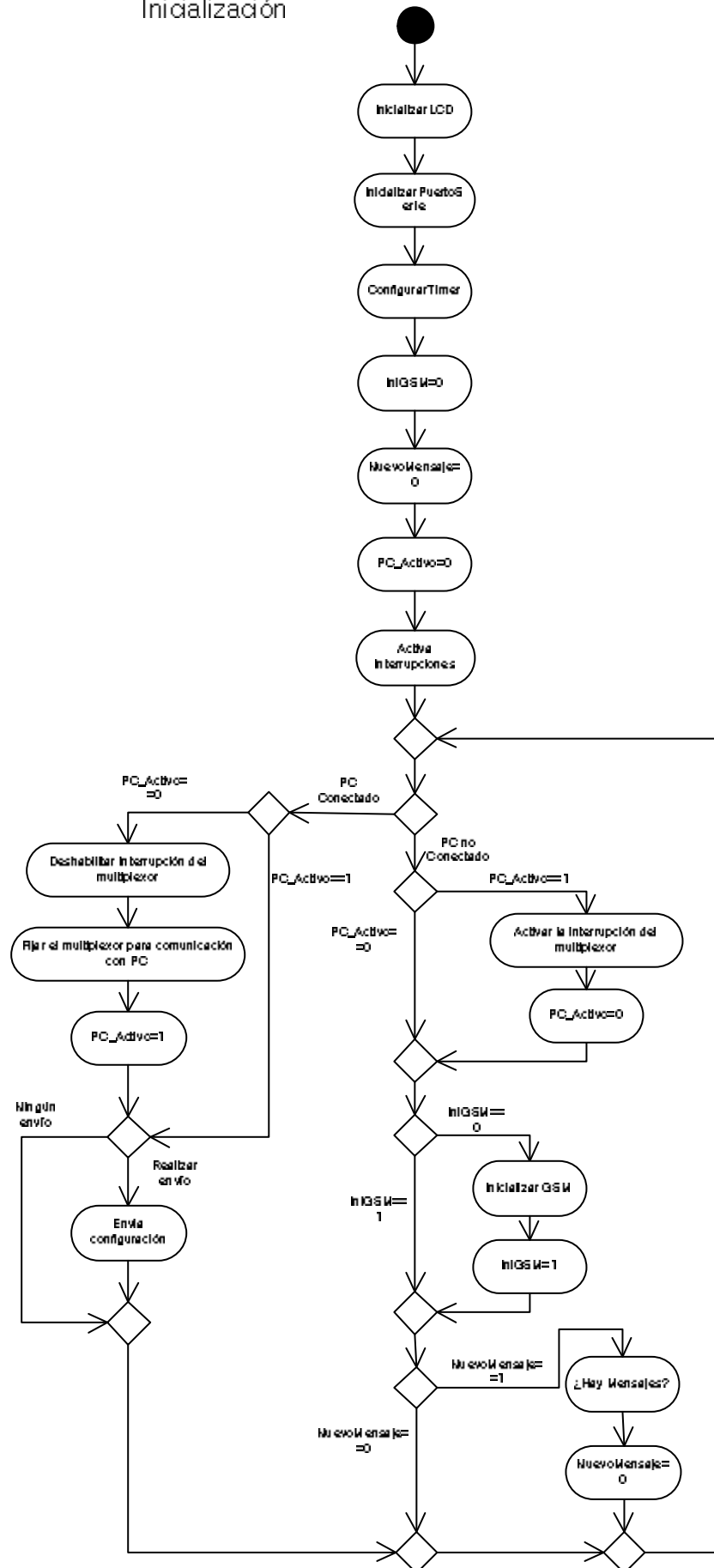
Esta es la configuración que se usa para la comunicación con el teléfono móvil y con el GPS. Cada vez que llega un dato por puerto serie se genera una llamada a una rutina de interrupción en el microcontrolador, la cual gestiona los datos y actúa en consecuencia.

El último periférico a configurar es un temporizador, el cual se configura para generar una interrupción cada segundo. Este temporizador es usado para el control de tiempo de los timeout, tanto en la gestión de mensajes del GSM como para conocer cuando un dispositivo (GPS o GSM) ha podido tener un posible cuelgue y de esta forma actuar en consecuencia.

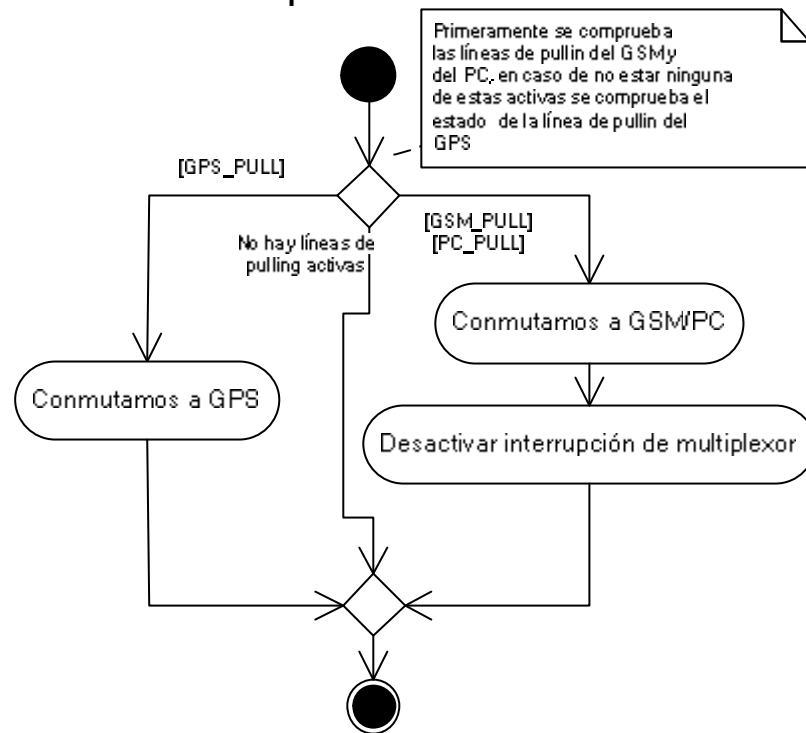
Pasado la configuración de los dispositivos y ciertas variables globales el programa el sistema entra a funcionar en su bucle principal donde se van realizando comprobaciones con la siguiente prioridad:

- Comprobar si se está conectado al PC
- Comprobar si se ha inicializado el GSM
- Comprobar si ha llegado un mensaje del GSM
- Comprobar si se tiene que enviar un mensaje a la base o PC
- Y por último comprobar si ha pasado más de 4,3 minuto sin recibir mensaje, en caso de ser así se pasa a realizar una comprobación.

## Inicialización



## Control del multiplexor, por interrupción



- **Código identificador del móvil (ID)**

El móvil debe de poseer un código único para poder ser identificado por la base.

- **PIN de la SIM**

El sistema proyectado debe de realizar la inicialización del teléfono móvil para que este funcione correctamente, por lo que lo primero que se tiene que hacer es la introducción del PIN para habilitar todas las funciones de la SIM como puede ser el envío y recepción de mensajes SMS.

- **Mensaje NMEA**

Indica el tipo de mensaje que tiene que escuchar del GPS, el resto de los mensajes que pueda recibir de él serán ignorados

- **Envío de mensajes SMS largos**

Indica si el teléfono utilizado usa el sistema de envío de mensajes SMS ampliado como se indicó anteriormente

- **Recepción de mensaje SMS largo**

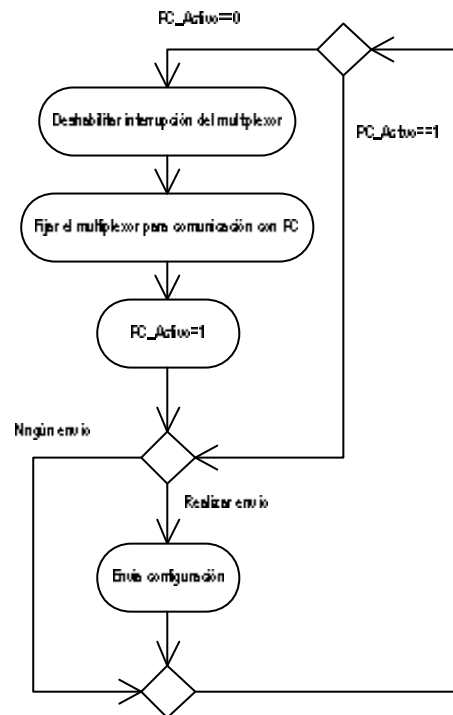
Indica si el teléfono utilizado usa la recepción de mensajes SMS ampliado.

Todos estos parámetros deben de ser introducidos de alguna manera y deben de ser permanentes hasta que por algún motivo se decida a ser cambiado, por ejemplo por un cambio en el número del teléfono base, por todo esto se ha decidido guardar estos datos en la EEPROM y no en la RAM.

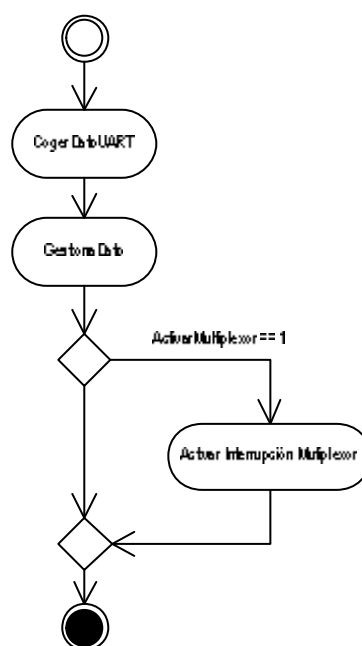
El medio utilizado para realizar la configuración es mediante PC. Como la configuración del dispositivo no debe de realizarse a menudo se ha decidido utilizar el mismo conector del puerto serie destinado al teléfono GSM y para indicar al dispositivo que se trata del PC y no del teléfono se cambia un interruptor dispuesto para ello, esto hace cambiar el estado del PIN de pullin del PC de estado “alto” a estado “bajo”

indicando de esta forma al dispositivo proyectado que se encuentra conectado al PC, quedando el bucle principal de la aplicación de la siguiente manera:

Bucle principal cuando el sistema está conectado al PC



Interrupción puerto Serie



La comunicación siempre se realiza de la misma forma, el PC pregunta y el dispositivo contesta o simplemente el PC manda los comandos de configuración para los diferentes parámetros, estos comandos son:

| Comportamiento del Comando                 | Comando del PC                                                                                                                                             | Respuesta del "Móvil"                                       |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Cfg teléfono base                          | <b>T,Tlf(en PDU)&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b><br>Ej.<br>T,4346365361F4<CR><LF><br>Siendo el tlf el 34646335164                                                  | Nada                                                        |
| Cfg del Id del móvil                       | <b>I,"ID"&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b><br>Ej.<br>I,1A<CR><LF>                                                                                                   | Nada                                                        |
| Cfg el mensaje NMEA                        | <b>M,NMEA, ID</b><br><b>NMEA,&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b><br>Donde NMEA puede ser:<br>- GPRMC<br>- GPGLL<br>- GPGGA<br>Y el ID NMEA:0,1 ó 2<br>respectivamente | Nada                                                        |
| Cfg del PIN de la SIM                      | <b>P,PIN&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b>                                                                                                                           | Nada                                                        |
| Petición de la configuración               | <b>C&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b>                                                                                                                               | C,NMEA,ID<br>Móvil,PIN,Tlf<br>(PDU),ExEnvio,ExRecep<CR><LF> |
| Cfg del contador del PIN                   | <b>Z,Cont&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b>                                                                                                                          | Nada                                                        |
| Cfg del modo de envío/recepción de los SMS | <b>H,ExEnvio,ExRecep&lt;CR&gt;&lt;LF&gt;</b><br>Valores posibles para<br>ExEnvio y ExRecep 0 ( no<br>extendido) ó 1 (extendido)                            | Nada                                                        |

#### Mapa de la EEPROM

| Addr    | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 0A | 0B | 0C | 0D | 0E | 0F | 0123456789ABCDEF |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------------|
| 000000: | 47 | 50 | 52 | 4D | 43 | 00 | 00 | 31 | 41 | 00 | 34 | 33 | 34 | 36 | 33 | 36 | GPRMC..1A.434636 |
| 000010: | 35 | 33 | 36 | 31 | 46 | 36 | 00 | 38 | 32 | 39 | 31 | 00 | 00 | 01 | 01 | FF | 5361F6.8291..... |

El significado del color es:

- rojo: Mensaje NMEA
- Verde: Valor indicador del tipo de mensaje NMEA
- Azul: ID del móvil

- Rosa: Número del teléfono base en formato PDU
- Amarillo: PIN del teléfono situado en el dispositivo móvil.
- Marrón: Número de intentos fallidos en la introducción del PIN.
- Celeste: Indicador de envío extendido de SMS
- Gris: Indicador de lectura extendida de SMS

### 2.2.6.3 Gestión del GPS

Una vez encendido el sistema y configurado todos los periféricos, el sistema entra dentro del estado llamado *gestión del GPS*, en este estado el sistema se encuentra chequeando una posible llegada de datos por parte del GSM y del GPS, en el caso de que llegue un mensaje corto, el sistema conmuta al estado *gestión de GSM* el cual se explica en el siguiente apartado.

En el estado *gestión del GPS*, el sistema se encuentra escuchando los dos puertos series, y en el caso de recibir el mensaje NMEA configurado, este es procesado y mostrado en la pantalla LCD.

Como se indicó en el apartado [Mensajes NMEA](#) todos los mensaje NMEA comienzan por el carácter ASCII '\$' y terminan con los caracteres <CR><LF>, estos mensajes NMEA están compuestos por varios campos y los campos se encuentra separados por el carácter ','. El procedimiento seguido es el que se detalla a continuación.

El sistema va recibiendo caracteres por el puerto del GPS y cuando llega el carácter '\$' se activa una variable global que indica al sistema que se está recibiendo una cadena NMEA y se almacena el carácter en un buffer en la memoria RAM interna del micro, hasta que se han recibido los primeros 5 caracteres, los cuales coinciden con el valor de la cabecera del mensaje, es decir su nombre: GPRMC, GPGLL,...

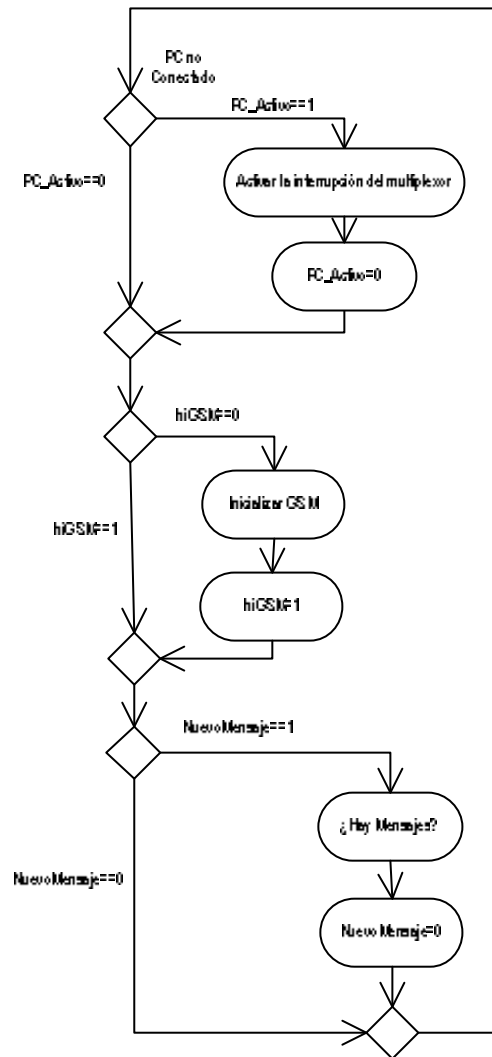
Una vez recibido la cabecera del mensaje esta es comprobada con la que tenemos configurada en al EEPROM, en el caso de que no coincida se pone a cero la bandera anterior y desechamos los datos, en el caso de ser el mensaje configurado, los datos de la cabecera son guardados en la XRAM junto con los siguientes datos que componen el mensaje, así hasta recibir el carácter <CR>, una vez recibido éste llamamos a la función encargada de mostrar los datos en el LCD y dejamos el sistema preparado para recibir un nuevo mensaje NMEA.

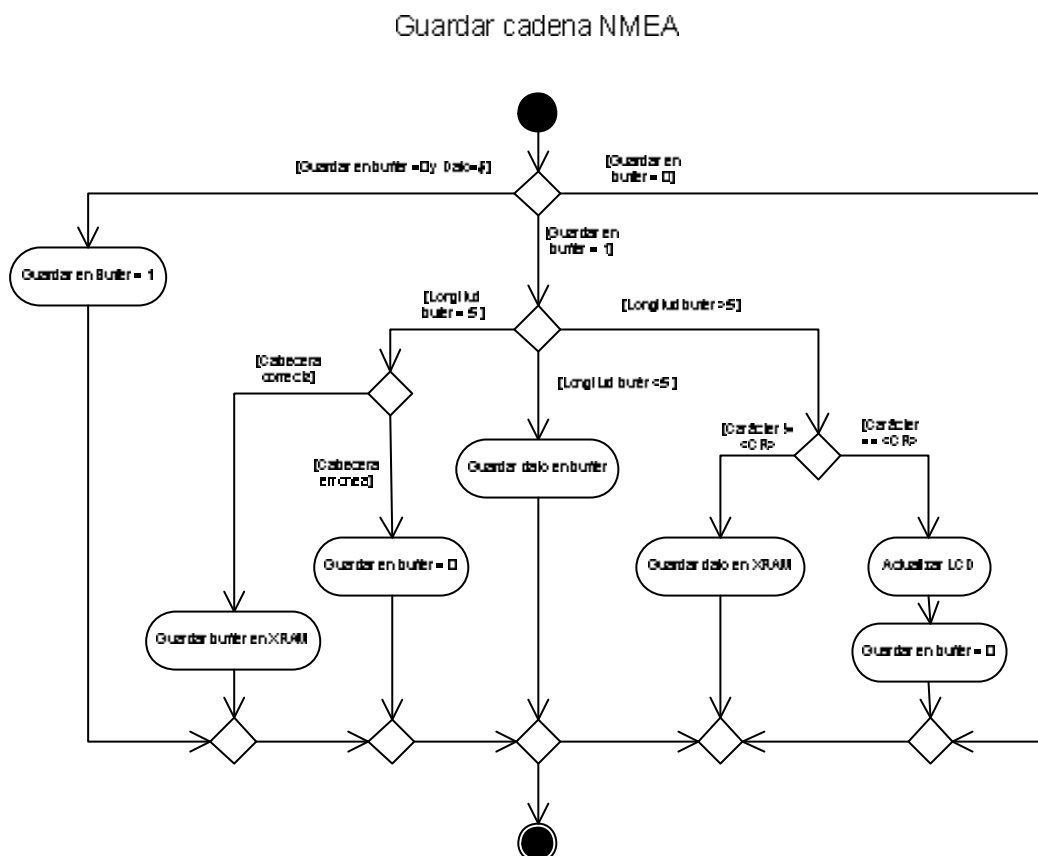
La función se encarga de coger los datos de la XRAM y mostrar los diferentes campos del mensaje en el LCD, campos tales como lat, lon, hora (UTM), fecha ( si estamos usando el mensaje GPRMC los otros mensajes no poseen este campo), y el ID del móvil.

El LCD utilizado en el presente proyecto solamente puede mostrar 2 líneas de 16 caracteres cada una, como todos los datos no se pueden mostrar al mismo tiempo se ha dispuesto de un botón con el que intercambiar entre la pantalla de posición y la de información, representando en la pantalla de posición los datos de lat y longitud y el resto de los datos en la pantalla de información.



# Bucle principal cuando el sistema está desconectado del PC





#### 2.2.6.4 Gestión del GSM

Este es el estado del programa del microcontrolador encargado de gestionar todas las funciones del teléfono GSM, cuando el teléfono empieza a transmitir datos el sistema conmuta el puerto serie que esta escuchando para atender solamente al GSM, para ellos se fija el estado del multiplexor y se deshabilita la interrupción relacionada con éste, no volviéndose a habilitar hasta que finaliza la comunicación con el teléfono.

En este estado podemos diferenciar tres estados fundamentales: inicialización del teléfono móvil, leer mensajes, enviar mensajes.

#### **2.2.6.4.1 Inicialización del teléfono móvil**

Tras terminar el estado de inicialización, el sistema comprueba si se encuentra conectado al PC, en caso contrario o simplemente cuando se desconecta del PC, se realiza la inicialización del teléfono móvil.

Para asegurarnos una correcta inicialización del teléfono móvil primeramente se realiza inicialmente un reset por hardware del equipo como se indicó en el apartado [Conexión del Teléfono al sistema de posicionamiento](#).

La comunicación con el teléfono móvil se realiza enviando los diferentes comandos AT y esperando la correspondiente contestación según el comando utilizado. Para saber en cada momento que tipo de respuesta es la esperada hacemos uso de una variable global que indicará al sistema en cada momento que se debe de esperar como respuesta correcta, en caso contrario lo recibido por parte del teléfono GSM será considerado como respuesta errónea.

La inicialización del teléfono responde a la siguiente consecución de comandos AT.

- Comando AT para que el presente teléfono ajuste su velocidad al del dispositivo de posicionamiento.
- Comando AT+IPR, para fijar la velocidad de comunicación y evitar fallos debidos a una velocidad de comunicación incorrecta.
- Posteriormente comprobamos el estado del PIN con AT+CPIN?
- En caso de ser necesario se realiza la introducción del código PIN con el comando AT+CPIN=PIN.
- En caso de necesitar el código PUK o de haberse introducido dos vez mal el código PIN, el programa necesita ser reconfigurado por le PC para volver a funcionar.

- Tras una introducción correcta del código PIN habilitamos el evento del teléfono para que nos envíe un mensaje cuando reciba un SMS con el comando AT+CNMI=2,1

#### 2.2.6.4.2 Leer mensajes SMS

Una vez que se ha realizado una notificación al sistema de que se ha recibido un mensaje SMS se entra en el estado de *leer mensajes SMS*.

En este estado lo primero que se realiza es comprobar el número de mensaje de la tarjeta SIM, una vez obtenido estos se pasa a leerlos uno por uno.

Para saber el número de mensajes de la tarjeta SIM se utiliza el comando AT+CPMS, una vez tenida con el comando AT+CMGR=<index> vamos leyendo los diferentes mensajes.

Los mensajes deben de pasar una serie de filtros antes de ser procesados, estos filtros son:

1º- El teléfono del cual procede el SMS debe de ser el de la base

2º- El mensaje debe de estar codificado en 8bits

3º- El mensaje debe de ser uno de los siguientes:

- POS: Con este mensaje la base está pidiendo la posición del móvil entrando el sistema en el estado ***Enviar Mensaje SMS***.
- NMEA: Con este mensaje la base le está indicando al móvil un cambio en la gestión del mensaje NMEA a utilizar, en este caso el formato del mensaje es:

NMEA,Men NMEA, Número de tipo

Donde Men NMEA puede tener los valores: GPRMC,GPGLL o GPGLL  
y Número de tipo los caracteres: 0 , 1 ó 2 respectivamente.

Este mensaje supone la actualización en la EEPROM de los valores de configuración del mensaje NMEA a escuchar.

### 2.2.6.4.3 Enviar mensajes SMS

El sistema entra en este estado cuando la base realiza una petición de la posición, en este caso lo primero que se hace es obtener la posición actual del dispositivo móvil, para ello lo primero que se hace es la conmutación en el multiplexor para solo escuchar los datos provenientes del GPS, recordar que la interrupción relacionada con el multiplexor se deshabilitó anteriormente.

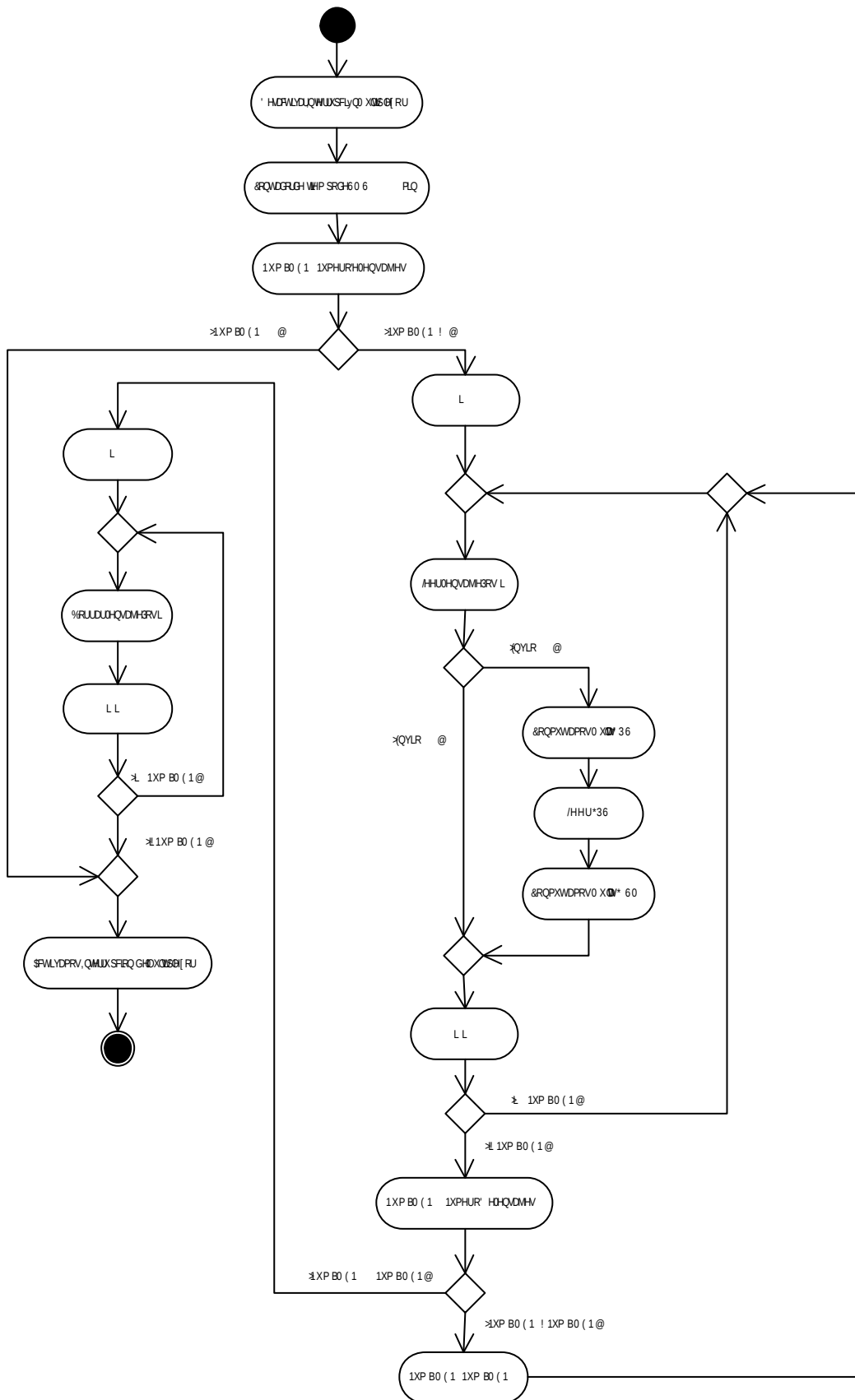
Una vez obtenida la posición se vuelve a conmutar el multiplexor para poder realizar el diálogo con el teléfono GSM. Lo primero que se tiene que hacer antes de poder enviar un mensaje es comprobar la cobertura, si tras cuatro intentos no el sistema se encuentra fuera de cobertura no se realiza el envío del mensaje. En el caso de estar con cobertura se procede a realizar el envío del mensaje mediante el comando AT+CMGS.

Recordando como se vio en el apartado [Formato PDU para el envío de mensajes](#) que se tiene que generar la trama PDU, que es la que se envía con este mensaje, en esta trama el mensaje va codificado en “ASCII-HEX”, es decir si se quiere enviar el típico mensaje de prueba 12345, en la trama PDU debería de aparecer: 31 32 33 34 35.

Una vez finalizado el envío del mensaje se regresa al estado de ***Leer mensajes SMS***

El diagrama de flujo del sistema referente a la gestión de los mensajes SMS es:

) XQFLYQ¢ + D¡ P HQVDMHV"



### 2.2.6.5 Control de Timeout

El sistema cuenta con un control de Timeout tanto para el dispositivo GSM como para el dispositivo GPS.

El dispositivo GPS se encuentra configurado para enviar mensajes NMEA cada segundo, visto esto se ha decidido establecer un timeout de 4 segundos para el GPS, es decir el equivalente a 4 Mensajes NMEA, en caso de que se de que el GPS no envíe el mensaje NMEA solicitado en cuatro segundos, el sistema mostrará en el LCD el mensaje de error correspondiente para que el usuario tenga consciencia de ello.

El dispositivo GSM dispone de diferentes timeout según el comando AT utilizado en cada momento, en este caso si en algún comando se alcanza el tiempo de Timeout se intenta volver a enviar el comando AT, ya que el dispositivo es posible que estuviera ocupado con alguna configuración interna y no pudiera atender a nuestra solicitud. Si tras cuatro intentos no se tiene respuesta de GSM se supondrá que éste se encuentra no operativo por alguna razón, en este caso se procede a realizar un reset por hardware del teléfono y un reset por software del programa del microcontrolador para volver a obtener el control del sistema.

Con el GPS no se procede a un reset del equipo ya que es posible que se encuentre fuera de cobertura, por ejemplo si el sistema se encuentra instalado en un coche y este pasa por debajo de una montaña. Por otra parte el dispositivo GSM es estrictamente necesario para el buen funcionamiento del sistema, y este siempre responderá con un mensaje de error o no según haya podido gestionar correctamente o no el comando utilizado, si tras cuatro intentos no se ha obtenido respuesta es porque este se encuentra “colgado” por lo que se hace necesario realizar un reset para que vuelva a la normalidad.

Tabla de timeout de los comandos AT utilizados

| Comandos AT | Tiempos (s) |
|-------------|-------------|
| AT          | 0.1         |
| AT+IPR      | 0.1         |
| AT+CPIN     | 20          |
| AT+CNMI     | 4           |
| AT+CSCA     | 20          |
| ATE0        | 0.1         |
| ATS3        | 0.1         |
| AT+CMGF     | 5           |
| AT&W        | 0.1         |
| AT+CREG     | 5           |
| AT+CMGR     | 0.1         |
| AT+CMGS     | 0.1         |
| AT+CMGD     | 0.1         |
| AT+CPMS     | 5           |

### 2.2.7 Fuente de alimentación

El dispositivo de posicionamiento móvil se ha diseñado para realizar la conexión al mechero del automóvil. La tensión obtenida desde el mechero es la misma que entrega la batería del coche, es decir 12V, mientras que el microcontrolador utilizado, LCD, y demás dispositivos del sistema de posicionamiento del móvil funcionan con tecnología de 5V.

El consumo del sistema de posicionamiento es de:, por otra parte este dispositivo debe de alimentar tanto al dispositivo del GPS como al dispositivo GSM, ambos funcionan con tecnologías de 3.3V, aunque el GSM necesita de una alimentación de 3.8V. Ambos dispositivos han sido montados en una placa aparte y se conectan al dispositivo móvil para intentar hacer este lo más general posible, en esta placa se realizan los ajustes de tensión y de impedancia necesarios, pero se alimenta del dispositivo móvil.

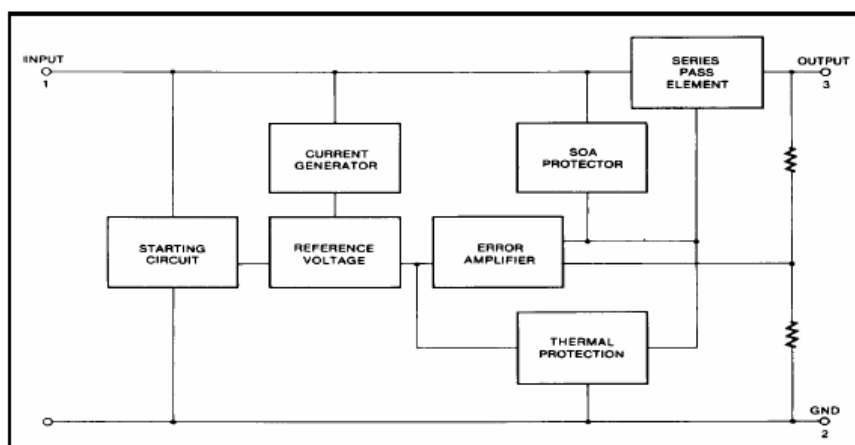
El dispositivo móvil tiene un consumo de (sin contar módulo GSM ni GPS):130mA

El dispositivo GPS posee un consumo máximo de: 200mA

Y el GSM en transmisión tiene un consumo en transmisión de:

- Pico máximo 1.9A
- Consumo medio en transmisión es de 350mA

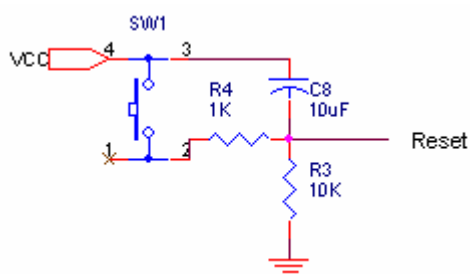
Por lo tanto la fuente de alimentación del circuito móvil debe de realizar la regulación de tensión a 5V y poder dar un consumo de 2.32 amperios. Para conseguir esto se ha utilizado el circuito KA78T05, este circuito es un regulador lineal de 5V con un consumo máximo de 3A, soportando una potencia de 25W



## 2.2.8 Reset del microcontrolador

El microcontrolador usado en el presente proyecto utiliza reset activo a nivel alto.

El circuito utilizado en el presente proyecto es el siguiente:



El condensador se cargará a la tensión VCC quedando en nodo Reset a la tensión de referencia (GND) y por lo tanto el microcontrolador tendrá el reset “deshabilitado”.

Para realizar un reset del microcontrolador se realiza la pulsación de SW1, en este instante de tiempo el condensador empezará a descargarse a través de las resistencias generando la “habilitación” del reset del microcontrolador.



## 2.3 Sistema de control de la base

El sistema de control de la base está compuesto de un programa de PC que se comunica con los diferentes móviles a través de un teléfono GSM. El programa del PC debe de gestionar la posición de los diferentes móviles, y ser capaz de configurarlos.

Para el presente proyecto se ha realizado una pequeña aplicación realizada en C++ Builder 5.0 para el sistema operativo Windows.

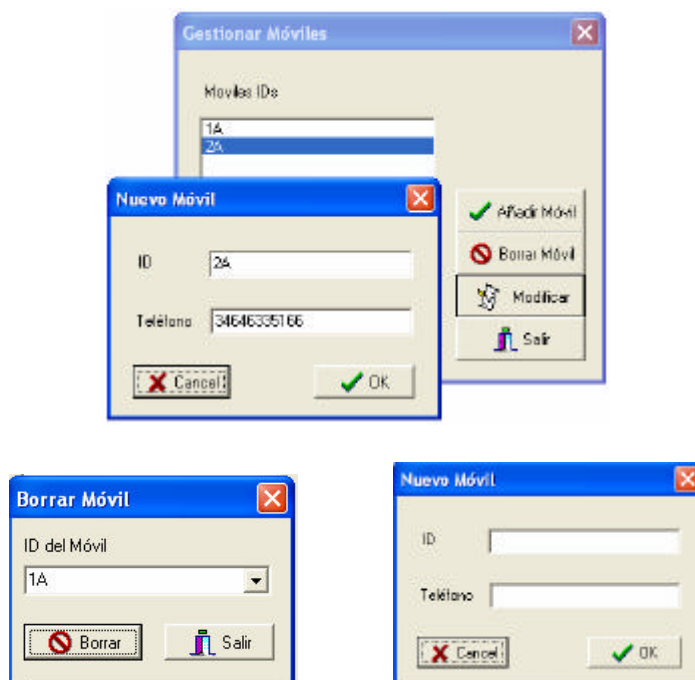
En esta aplicación se realiza la gestión de los diferentes móviles, la base, configuración del GPS del móvil (es específico para el GPS utilizado en el presente proyecto ), visualización en un mapa geodésico de la posición del móvil elegido.

### 2.3.1 Gestión de los móviles

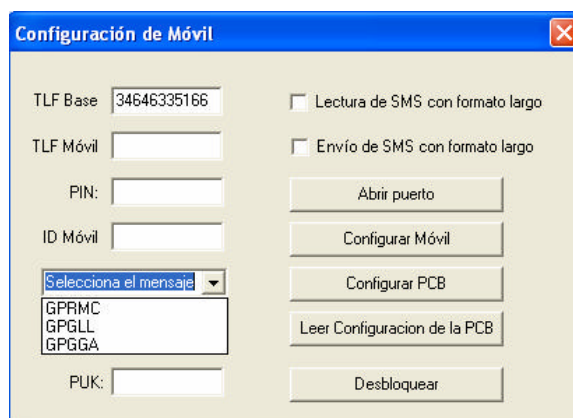
Como se ha indicado en apartados anteriores, cada móvil está compuesto por un identificador único y este identificador tiene relacionado un número de teléfono móvil, por lo que la gestión de móviles comprende la creación de una pequeña base de datos donde se guardan relacionados los ID de los móviles con su número de teléfono correspondiente.

La gestión de móviles comprende la modificación, borrado e introducción de los móviles, no permitiendo la incorporación de un nuevo móvil si el ID o tlf ya se encuentra incorporado en la base de datos.

Como el programa del PC no es más que un prototipo, la base de datos es guardada en un fichero formateado con estructura de ficheros ini, al arrancar el programa se lee dicho fichero y se guarda en memoria para acelerar el acceso a los datos. Si el usuario final debe de controlar un número muy elevado de “móviles” sería interesante usar bases de datos como MySQL y no un fichero ini.



Por otra parte la gestión de los móviles también debe de ser capaz de realizar la configuración del dispositivo móvil, tanto del teléfono móvil de la base, como de la introducción de los diferentes datos de configuración necesarios para el dispositivo diseñado en el presente proyecto.



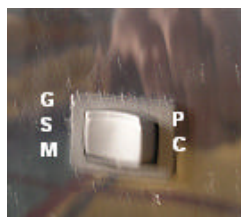
Los parámetros son:

- Parámetros para la base de datos
  - o Teléfono del móvil
  - o ID del móvil
- Parámetros para la configuración del móvil
  - o PIN del móvil (si es necesario)
  - o PUK (sólo para desbloquear el teléfono si se encuentra bloqueado)
  - o Lectura del SMS en formato largo
  - o Escritura del SMS en formato largo
- Parámetros para la configuración del PCB
  - o ID del móvil
  - o PIN del móvil (si es necesario)
  - o Tipo de mensajes NMEA a utilizar
  - o Lectura del SMS en formato largo
  - o Escritura del SMS en formato largo

Si lo que se desea es modificar la configuración interna del sistema de configuración del móvil, se pueden leer los datos de configuración pulsando el botón

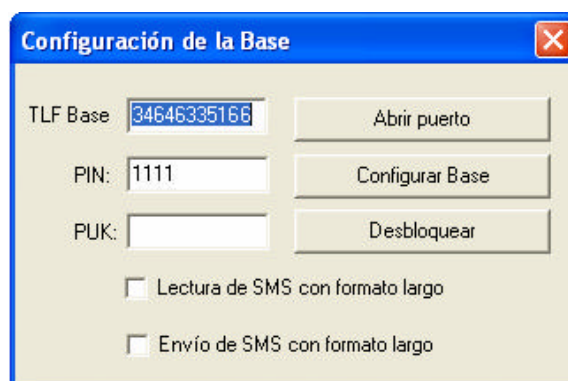
*Leer configuración de la PCB*

Para poder realizar la configuración del móvil este debe de estar conectado al PC, para ello se utiliza el conector de puerto serie del GSM y se pulsa el botón lateral de la caja como se muestra en la figura



### 2.3.2 Gestión de la base

El sistema de gestión de la base solamente recibe los datos referentes a la configuración del teléfono GSM.



- Parámetros para la configuración del móvil
  - o PIN del móvil (si es necesario)
  - o PUK (sólo para desbloquear el teléfono si se encuentra bloqueado)
  - o Lectura del SMS en formato largo
  - o Escritura del SMS en formato largo

### 2.3.3 Configuración del GPS

El dispositivo GPS necesita de configurar ciertos parámetros como la velocidad de conexión, mensajes NMEAs que se quieren recibir, intervalo de transmisión de cada mensaje,...

Realizar la configuración de los dispositivos GPS nos es estándar, el sistema de configuración es específico de cada fabricante. El GPS utilizado responde a dos sistemas de comunicación, los ya mencionados comandos NMEAs y los comandos SFIRs.

Para poder realizar la configuración del dispositivo si tiene que conmutar el modo de comunicación de NMEA a modo SFIR.

Los comandos SFIR son transmisiones de cadenas binarias, comenzando la transmisión con los caracteres 0xA0,0xA2 y terminan con los caracteres 0xB0,0xB3.

Un comando SFIR tiene la siguiente estructura

| Start Sequence              | Payload Length         | Payload                               | Message Checksum       | EndSequence   |
|-----------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------|
| 0xA0 <sup>1</sup> ,<br>0xA2 | Two-bytes<br>(15-bits) | Up to 2 <sup>10</sup> -1<br>( <1023 ) | Two-bytes<br>(15-bits) | 0xB0,<br>0xB3 |

Los comandos SFIR soportados en este proyecto son:

Cambio de velocidad

| Name       | Bytes | Binary(Hex) |          | Units | Description                     |
|------------|-------|-------------|----------|-------|---------------------------------|
|            |       | Scale       | Example  |       |                                 |
| Message ID | 1     |             | 86       |       | Message identifier              |
| Baud       | 4     |             | 00002580 |       | 38400,19200,9600,4800,2400,1200 |
| Data Bits  | 1     |             | 08       |       | 8,7                             |
| Stop Bit   | 1     |             | 01       |       | 0,1                             |
| Parity     | 1     |             | 00       |       | None=0, Odd=1, Even=2           |
| Pad        | 1     |             | 00       |       | Reserved                        |

Cambio de la configuración del mensaje NMEA y conmutación del modo SFIR a NMEA

| Name                     | Bytes | Binary(Hex) |         | Units | Description       |
|--------------------------|-------|-------------|---------|-------|-------------------|
|                          |       | Scale       | Example |       |                   |
| Message ID               | 1     |             | 81      |       | ASCII 129         |
| Mode                     | 1     |             | 02      |       |                   |
| GGA Message <sup>1</sup> | 1     |             | 01      | 1/s   |                   |
| Checksum <sup>2</sup>    | 1     |             | 01      |       |                   |
| GLL Message              | 1     |             | 00      | 1/s   |                   |
| Checksum                 | 1     |             | 01      |       |                   |
| GSA Message              | 1     |             | 05      | 1/s   |                   |
| Checksum                 | 1     |             | 01      |       |                   |
| GSV Message              | 1     |             | 05      | 1/s   |                   |
| Checksum                 | 1     |             | 01      |       |                   |
| RMC Message              | 1     |             | 00      | 1/s   |                   |
| Checksum                 | 1     |             | 01      |       |                   |
| VTG Message              | 1     |             | 00      | 1/s   |                   |
| Checksum                 | 1     |             | 01      |       |                   |
| MSS Message              | 1     |             | 00      |       | Recommended value |
| Checksum                 | 1     |             | 01      |       | Recommended value |

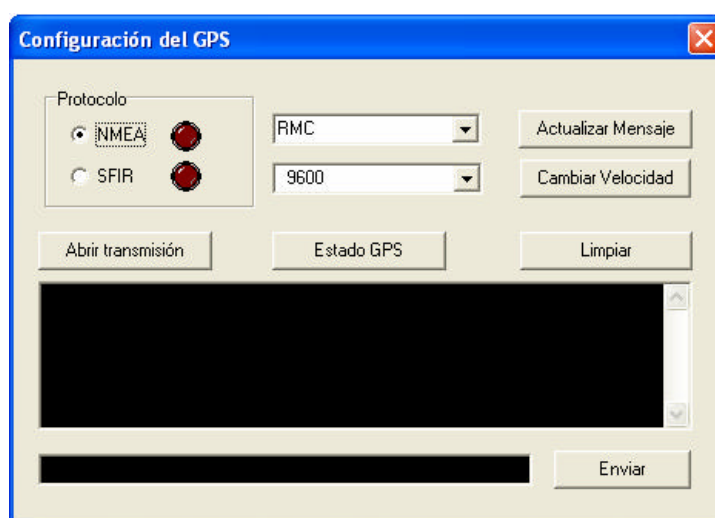
|              |   |  |      |  |                            |
|--------------|---|--|------|--|----------------------------|
| Unused Field | 1 |  | 00   |  | Recommended value          |
| Unused Field | 1 |  | 01   |  | Recommended value          |
| Unused Field | 1 |  | 00   |  | Recommended value          |
| Unused Field | 1 |  | 01   |  | Recommended value          |
| Unused Field | 1 |  | 00   |  | Recommended value          |
| Unused Field | 1 |  | 01   |  | Recommended value          |
| Baud Rate    | 1 |  | 12C0 |  | 38400,19200,9600,4800,2400 |

El valor del checksum se calcula con el siguiente algoritmo:

$$\text{checkSum} = \text{checkSum} + \text{message}[\text{index}]$$

$$\text{checkSum} = \text{checkSum} \text{ AND } (2^{15} - 1)$$

La pantalla de configuración del GPS en el programa de la base es:



Con el botón **Estado GPS** el sistema busca la configuración actual del GPS: protocolo de comunicación (NMEA, SFIR), velocidad de comunicación y mensaje NMEA utilizado.

Este sistema de configuración fija la transmisión de un único mensaje a un intervalo de 1 mensaje por segundo.

### **2.3.4 Comunicación con el teléfono móvil**

La comunicación del programa de la base con el teléfono móvil se realiza igualmente a través del puerto serie.

La llegada de un dato por el puerto serie genera un evento en el programa del PC para poder recoger el dato y realizar la pertinente gestión.

La forma de gestionar los valores recibidos por el puerto serie es similar al comentando en apartados anteriores en el software del microcontrolador para los dispositivos móviles.

El programa se encuentra chequeando el estado el puerto serie, cada vez que se recibe un dato, éste es guardado en un array, cuando se reciben los caracteres indicadores de fin de cadena (<CR><LF>) se comprueba la cadena recibida, en el caso de ser un mensaje SMS en el que el contenido del mensaje es un mensaje de posición, NMEA, se comprueba que esta cadena sea correcta y si lo es, se pasa a pintar la posición en la pantalla.

La recepción de un mensaje SMS antes de pasar a ser gestionado debe de pasar ciertos filtros:

- El número de teléfono que mandó en mensaje debe de estar en la base de datos de los móviles que gestiona la base.
- El mensaje debe de estar codificado en 8 bits.

Por último indicar que la configuración del teléfono GSM y la forma de leer y gestionar los mensajes recibidos en el PC se realiza de forma idéntica a la mostrada en el apartado del dispositivo de posicionamiento del móvil.

### 2.3.5 Cálculo de la posición

Una vez recibido el mensaje NMEA correspondiente mediante un SMS procedente de un móvil, se pasa a calcular su verdadera posición para realizar la representación en pantalla.

El GPS utilizado manda los datos referentes al geoide WGS-84, mientras que el mapa utilizado para la representación del punto en pantalla puede estar usando otro geoide distinto, por lo que se puede hacer necesario pasar los datos de longitud/latitud recibidos por el GPS al geoide correspondiente del mapa para no perder precisión.

Algunos GPS comerciales permiten introducirles algunos parámetros de corrección y de esta forma obtener los datos de posición en el geoide correcto, pero el utilizado en el presente proyecto no lo permite, teniendo que realizarlo a mano.

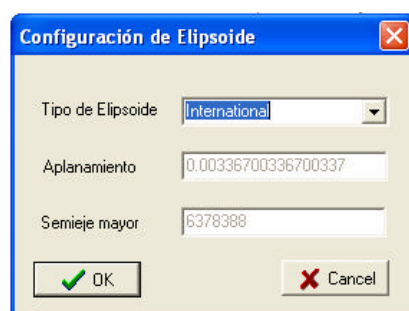
La transformación de un geoide a otro se realiza usando las transformaciones:

|                       |
|-----------------------|
| Ninguno               |
| Diferencia de Lat,Lon |
| Método de Molodesky   |
| Método de BursaWolff  |

Para poder realizar la transformación de forma correcta es necesario tener bien definido el geoide del mapa donde se representarán los datos en pantalla.

Los parámetros necesarios para poder definir un geoide son:

- Aplanamiento
- Semieje mayor



Una vez obtenido las coordenadas de lat/lon en el geoide del mapa a representar solo es necesario realizar el paso de las coordenadas de lat/lon a las correspondientes coordenadas de proyección.

| Coordenadas Geográficas(lat/lon) |
|----------------------------------|
| Mercator                         |
| UTM                              |

Cada proyección está definida por una serie de parámetros:

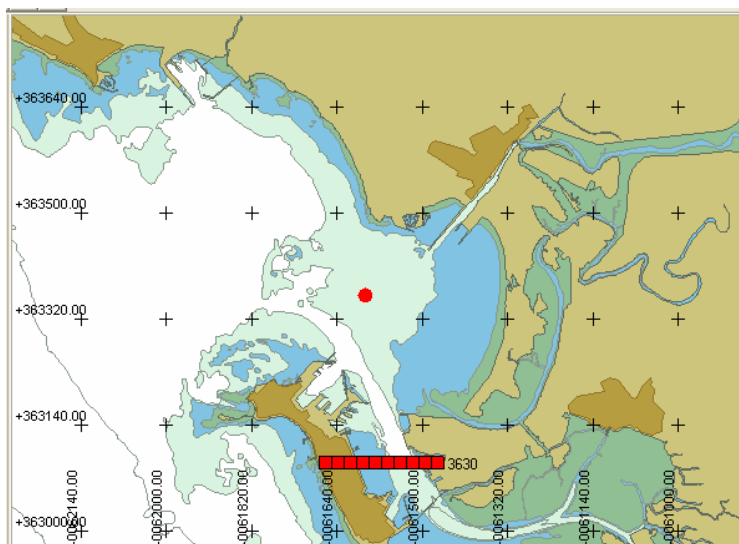
Para la proyección Mercator:

|                    |                                   |
|--------------------|-----------------------------------|
| Mercator           | UTM                               |
| Falso Este         | <input type="text" value="0"/>    |
| Falso Norte        | <input type="text" value="0"/>    |
| Latitud Media      | <input type="text" value="36.5"/> |
| Longitud de origen | <input type="text" value="0"/>    |

Para la proyección UTM:

|                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| Mercator               | UTM                                 |
| Factor K0              | <input type="text" value="0.9996"/> |
| Falso Este             | <input type="text" value="500000"/> |
| Falso Norte            | <input type="text" value="0"/>      |
| Meridiano Central      | <input type="text" value="-9"/>     |
| Auto Meridiano Central | <input type="checkbox"/>            |

Estos parámetros deben de ser coherentes con las propiedades del mapa utilizado para representar el punto. Una vez obtenidas los correspondientes valores de proyección con una simple regla de tres se obtiene los valores en píxeles para poder pintar el punto en pantalla.



## 2.4 Actualización del firmware

Como se ha comentado a lo largo del presente proyecto, el sistema de posicionamiento del móvil no deja de ser un prototipo y como tal puede estar sujetos a mejoras en su programación

El microcontrolador utiliza en el este proyecto cuenta entre sus ventajas que es una memoria Flash, y por lo tanto se puede reprogramar. Otra de las ventajas es que esta reprogramación se puede realizar directamente sobre la PCB final, es decir no se necesita de ninguna placa de desarrollo externa para poder realizar a programación del circuito, simplemente a través del puerto serie que incorpora el microcontrolador.

Las únicas exigencias para poder realizar la reprogramación del circuito a través del PC son:

- Las líneas Rx y Tx del microcontrolador estén disponibles para usarlas.
- Pin EA se encuentre en “1”
- Pin PSENT tenga el estado “0”

En este caso no se ha hecho necesario utilizar una memoria ROM/FLASH externa para incorporar código, por lo que el Pin EA se encuentra fijo a “1” como se pude ver en el esquemático en la sección de planos de este proyecto.

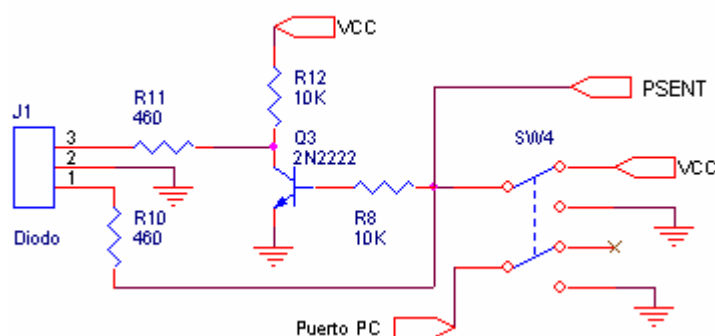
Por otra parte PSENT lo podemos fijar a “0” bien usando un jumper o un simple interruptor. Lo único que quedaría por fijar es asegurar la transmisión de datos desde el PC al micro saltando de alguna forma el multiplexor diseñado.

La estrategia utilizada ha sido la siguiente.

- Primeramente se usará el conector del puerto serie del GSM para realizar la comunicación con el PC
- Mediante el uso de un interruptor doble (2-2) fijamos el estado del microcontrolador (normal, grabación). En el modo grabación conseguimos cambiar el estado de PSENT a cero y se actúa sobre la línea de habilitación del multiplexor para dejar activo el par Tx, Rx del GSM.

Para saber en que estado se encuentra el microcontrolador se ha dispuesto de un led tricolor en placa, el color verde significa estado normal, y el color rojo estado de grabación.

El esquemático correspondiente a esta solución es el siguiente:



## 2.5 Bibliografía

EPSG Coordinate Conversions and Transformatios.pdf

GPS datum transformation.pdf

3-parameter Molodensky transformation.htm

7-parameter similarity transformation.htm

coordinate\_datum\_transformations.ppt

*Microcontroladores 8051 y 8052* Editorial Paraninfo sa

RGM-3000 Series Operation Manual V1.8.pdf

software interface 1.1(SIRF).pdf

1vv0300617\_GM862-PCS-GPRS-GSM\_Software\_User\_Guide\_issue3.pdf

AT\_8052.pdf