

Juan Antonio  
Enríquez García



ugr | Universidad  
de Granada

Sistema de Aviso ante Corte de Suministro Eléctrico  
mediante SMS a través de la Red Telefónica Fija

# Sistema de Aviso ante Corte de Suministro Eléctrico mediante SMS a través de la Red Telefónica Fija



ugr | Universidad  
de Granada

PFC Ingeniería  
Electrónica

Juan Antonio Enríquez García  
Ingeniería Electrónica

Curso 2013/2014



ugr

Universidad  
de Granada

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

---

Sistema de Aviso ante Corte de Suministro Eléctrico  
mediante SMS través de la Red Telefónica Fija

---

REALIZADO POR:

Juan Antonio Enríquez García

DIRIGIDO POR:

Andrés María Roldán Aranda

DEPARTAMENTO:

Electrónica y Tecnología de Computadores

Granada, Julio de 2014

# Sistema de Aviso ante Corte de Suministro Eléctrico mediante SMS través de la Red Telefónica Fija

Juan Antonio Enríquez García

**PALABRAS CLAVE:** telefonía, domótica, SMS, alimentación desde red telefónica, corte de suministro eléctrico

## RESUMEN:

Este documento constituye la memoria del Proyecto Fin de Carrera *Sistema de Aviso ante Corte de Suministro Eléctrico mediante SMS a través de la Red Telefónica Fija*. A lo largo de estas páginas se describe el proyecto por medio de las etapas clásicas de un proyecto de ingeniería: especificación de requisitos, análisis, diseño, implementación, y validación.

El objetivo del proyecto consiste en el desarrollo de un dispositivo cuya función es monitorizar la red eléctrica, de modo que si se detecta un cambio en su estado — corte o restablecimiento —, se envía un mensaje de texto corto (*SMS*) a un teléfono de notificación indicado por el usuario.

Para ello, se diseña un sistema empotrado gobernado por un microcontrolador que ejecuta el control lógico, y monitoriza la red eléctrica mediante una interfaz optoacoplada. El envío del SMS requiere del uso de un módem FSK conectado a la línea telefónica. Y la configuración del dispositivo se realiza con una aplicación de ordenador, al cual se conecta dicho dispositivo por el puerto USB.

**KEYWORDS:** telephony, home automation, SMS, power supply from the telephone network, power outage

## ABSTRACT:

The present document constitutes the report of the Master Thesis *Power Outage Notifying System by SMS through the Fixed Telephone Network*. The project description is presented in these pages, covering the different classic stages of the engineering process: requirements, analysis, design, implementation and validation.

The aim of the project is to develop a device capable of monitoring the electrical grid, in such a way that if it detects a change in its state — outage or restoration —, a short message (*SMS*) is sent to a previously user specified notification phone number.

For this purpose, an embedded system is designed, based on a microcontroller which performs the logic control, and monitors the electrical grid through an optoisolated interface. The SMS forwarding requires a FSK modem connected to the telephone network. And the device configuration is done from a computer application, which makes use of the USB port for connecting with the embedded system.

D. Andrés María Roldán Aranda, profesor del Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada, como director del Proyecto Fin de Carrera de D. Juan Antonio Enríquez García

Informa:

que el presente trabajo, titulado:

*Sistema de Aviso ante Corte de Suministro Eléctrico mediante SMS través de la Red Telefónica Fija*

Ha sido realizado y redactado por el mencionado alumno bajo mi dirección, y con esta fecha autorizo a su presentación.

Granada, a 16 de Julio de 2014

Fdo. Andrés María Roldán Aranda

Los abajo firmantes autorizan a que la presente copia de Proyecto Fin de Carrera se ubique en la Biblioteca del Centro y/o departamento para ser libremente consultada por las personas que lo deseen.

Granada, a 16 de Julio de 2014

Fdo. Andrés María Roldán Aranda

Fdo. Juan Antonio Enríquez García

El tribunal constituido para la evaluación del proyecto PFC titulado:

## **Sistema de Aviso ante Corte de Suministro Eléctrico mediante SMS través de la Red Telefónica Fija**

Realizado por el alumno: **Juan Antonio Enríquez García**

Y dirigido por el tutor: **Andrés María Roldán Aranda**

Ha resuelto asignarle la calificación de:

- SOBRESALIENTE (9 - 10 puntos)
- NOTABLE (7 - 8.9 puntos)
- APROBADO (5 - 6.9 puntos)
- SUSPENSO

Con la nota:            puntos.

El Presidente:

El Secretario:

El Vocal:

Granada, a 18 de Julio de 2014



# Agradecimientos

Llegados a este punto, incluso parece sencillo y evidente el camino que enlaza la idea inicial de este proyecto con el resultado final conseguido. Sin embargo, la realización del mismo ha supuesto un verdadero reto tecnológico, que ha requerido utilizar todos los recursos a mi alcance. Sin muchos de ellos no habría sido posible culminar esta tarea de forma tan satisfactoria.

Por ello, quiero expresar en las siguientes líneas mi agradecimiento a aquellas personas que han contribuido a la lograr este desafío.

A *Andrés*, por haberme ofrecido la posibilidad de comprometerme con esta labor, por su disposición, desinterés e implicación constante, por su incontable experiencia y conocimiento, por su carácter enérgico y positivo, y por impulsar el esfuerzo, la perseverancia, y el tiempo invertido detrás de estas páginas, que bien han valido la pena en lo académico, en lo profesional y en lo personal.

A *Antonio*, porque, una vez más, su generosidad infinita me ha permitido disponer de las herramientas de laboratorio necesarias para el desarrollo del proyecto.

A *Laura*, porque no le basta con estar ahí día a día, y decidió donar su teléfono a la ciencia, con el que pude desentrañar el funcionamiento de los conceptos fundamentales del proyecto.

Y finalmente, a amigos y familiares, todos ellos. En especial a *mis padres*, para los cuales todas las palabras de agradecimiento siempre serán pocas.

A todos, mi sincero agradecimiento.



# Índice general

Resumen	2
Agradecimientos	7
Índice general	11
Índice de figuras	14
Índice de cuadros	15
Glosario	18
<b>1. Introducción</b>	<b>19</b>
1.1. Domótica, Internet y el Internet de las cosas	19
1.2. Motivación	21
1.3. Objetivos	21
1.4. Contenido de la memoria	22
<b>2. Especificación de requisitos</b>	<b>25</b>
2.1. Requisitos funcionales	25
2.1.1. Modos de operación	25
2.1.2. Interfaz de configuración	26
2.1.3. Sistema de notificación	27
2.1.4. Autonomía	27
2.2. Requisitos eléctricos	27
2.2.1. Sistema de control lógico	27
2.2.2. Sistema de monitorización de la red eléctrica	28
2.2.3. Conexión con la red telefónica fija	28
2.2.4. Sistema de notificación	28
2.3. Requisitos mecánicos	29
2.3.1. Montaje de los componentes electrónicos	29
2.3.2. Dimensiones, peso y encapsulado	30
2.4. Requisitos a nivel de proyecto	31
<b>3. Análisis de requisitos y alternativas</b>	<b>33</b>
3.1. Planteamiento del sistema	33
3.2. Interfaz con el sistema de configuración	34
3.3. Interfaz con la red eléctrica	35
3.4. Interfaz con la red telefónica	36
3.4.1. Alimentación DC	38

3.4.2.	Estado colgado . . . . .	39
3.4.3.	Estado descolgado . . . . .	39
3.4.4.	Transiciones entre colgado y descolgado . . . . .	40
3.4.5.	Señales de envío y recepción . . . . .	41
3.4.6.	Síntesis de alternativas para la conexión con la red telefónica . . . . .	43
3.5.	Protocolo de envío de SMS . . . . .	44
3.5.1.	Formato de mensajes . . . . .	44
3.5.2.	Intercambio de mensajes . . . . .	47
3.5.3.	Implicaciones en el diseño . . . . .	48
<b>4.</b>	<b>Diseño</b>	<b>49</b>
4.1.	Hardware . . . . .	49
4.1.1.	Diagrama de bloques . . . . .	49
4.1.2.	Selección de componentes . . . . .	50
4.1.3.	Esquemático . . . . .	52
4.1.4.	In-Circuit Serial Programming . . . . .	55
4.1.5.	LED RGB . . . . .	55
4.1.6.	Interfaz de configuración . . . . .	55
4.1.7.	Interfaz de monitorización de la red eléctrica . . . . .	57
4.1.8.	Interfaz con la red telefónica . . . . .	58
4.1.9.	Sistema de alimentación . . . . .	60
4.2.	Firmware . . . . .	64
4.2.1.	Rutina de configuración . . . . .	67
<b>5.</b>	<b>Implementación</b>	<b>71</b>
5.1.	Hardware . . . . .	71
5.1.1.	Herramientas de desarrollo . . . . .	72
5.1.2.	Diseño y fabricación de la PCB . . . . .	73
5.1.3.	Diseño y fabricación de la caja . . . . .	78
5.2.	Firmware . . . . .	81
5.2.1.	Herramientas de desarrollo . . . . .	81
5.2.2.	Código fuente del microcontrolador . . . . .	83
5.2.3.	Código fuente del computador . . . . .	84
<b>6.</b>	<b>Validación</b>	<b>87</b>
6.1.	Validación de requisitos funcionales . . . . .	87
6.1.1.	Modos de operación e interfaz de configuración . . . . .	87
6.1.2.	Sistema de notificación . . . . .	88
6.1.3.	Autonomía . . . . .	89
6.2.	Validación de requisitos eléctricos . . . . .	91
6.2.1.	Consumo del sistema . . . . .	91
6.2.2.	Conexión con la red telefónica y sistema de notificación . . . . .	92
6.3.	Validación de requisitos mecánicos . . . . .	93
6.3.1.	Montaje de los componentes electrónicos . . . . .	93
6.3.2.	Dimensiones, peso y encapsulado . . . . .	93
6.4.	Validación de requisitos a nivel de proyecto . . . . .	94

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	11
<b>7. Conclusiones</b>	<b>95</b>
7.1. Líneas de trabajo futuras . . . . .	96
<b>Referencias</b>	<b>101</b>
<b>Anexos</b>	<b>102</b>
<b>A. Cálculos de potencia</b>	<b>103</b>
A.1. Estimación de consumo instantáneo . . . . .	103
A.2. Caracterización del consumo . . . . .	104
A.3. Cálculo de capacidad de la condensador pila . . . . .	105
<b>B. Planificación y estimación de costes</b>	<b>107</b>
B.1. Planificación . . . . .	107
B.1.1. Cronograma . . . . .	107
B.2. Estimación de costes . . . . .	109
B.2.1. Listado de materiales ( <i>BOM</i> ) . . . . .	109



# Índice de figuras

1.1. Ejemplo de esquema domótico. . . . .	20
1.2. El Internet de las cosas. . . . .	20
1.3. Etapas del proyecto de ingeniería. . . . .	22
2.1. Diagrama de estados del funcionamiento básico del sistema. . . . .	26
2.2. Interfaz USB para la configuración del dispositivo. . . . .	26
2.3. Mockup de la interfaz de usuario de la aplicación de configuración. . .	27
2.4. Organismos de estandarización de telecomunicaciones. . . . .	29
3.1. Planteamiento general del sistema. . . . .	34
3.2. Alternativas de comunicación serie y alimentación para la interfaz de configuración. . . . .	35
3.3. Opciones de la interfaz de la red eléctrica para monitorización y alimentación. . . . .	36
3.4. Esquema simplificado del bucle de abonado . . . . .	37
3.5. Relación de voltaje - corriente en estado descolgado. . . . .	40
3.6. Señal FSK. . . . .	42
3.7. Opciones de la interfaz de la red telefónica para comunicación y alimentación. . . . .	44
3.8. Estructura de una trama del nivel de enlace de datos. . . . .	45
3.9. Estructura del mensaje de la capa de transferencia. . . . .	46
3.10. Secuencia de mensajes del protocolo de SMS intercambiados entre el equipo terminal y el centro mensajes. . . . .	48
4.1. Diagrama de bloques del sistema. . . . .	50
4.2. Logo Microchip. . . . .	51
4.3. Logo FTDI. . . . .	51
4.4. Logo Maxim Integrated. . . . .	52
4.5. Microcontrolador y sus conexiones. . . . .	52
4.6. Esquemático del circuito USB - UART para configuración. . . . .	56
4.7. Conexión de líneas UART entre el microcontrolador, el chip FTDI y el módem. . . . .	56
4.8. Circuito de monitorización de la red eléctrica. . . . .	57
4.9. Señales de entrada y salida del optoacoplador. . . . .	58
4.10. Módem, conexiones de las interfaces digitales y analógicas, y sus componentes auxiliares. . . . .	59
4.11. Interfaz con la red telefónica. . . . .	60
4.12. Modos de alimentación del sistema y los componentes implicados. . . .	61

4.13. Esquemático del sistema de alimentación intermitente a partir de la red telefónica. . . . .	63
4.14. Diagrama de flujo del bucle principal. . . . .	65
4.15. Diagrama de flujo del protocolo de envío de SMS. . . . .	66
4.16. Diagrama de flujo del algoritmo de configuración en la computadora y el microcontrolador. . . . .	68
4.17. Estructura del mensaje de configuración. . . . .	69
5.1. Logo Altium Designer. . . . .	72
5.2. Logo Solidworks. . . . .	72
5.3. Instrumentos de medida y desarrollo. . . . .	73
5.4. Herramientas de fabricación. . . . .	73
5.5. Layout de la PCB. . . . .	75
5.6. Distribución de componentes en la PCB. . . . .	76
5.7. Modelo 3D de la PCB. . . . .	76
5.8. Resultados de fabricación de la PCB. . . . .	78
5.9. Vistas destacada de la caja. . . . .	79
5.10. Piezas de la caja. . . . .	80
5.11. Diseño y resultado de impresión de la caja. . . . .	80
5.12. Programador Pickit3. . . . .	81
5.13. Logo MPLABX IDE. . . . .	82
5.14. Logo Xcode. . . . .	82
5.15. Logo FTDI. . . . .	83
5.16. Interfaz de configuración de <i>nsce</i> . . . . .	85
6.1. Captura de las señales de la línea telefónica durante el protocolo de envío de mensajes. . . . .	88
6.2. Diagrama de las señales de la línea telefónica durante el protocolo de envío de mensajes. . . . .	89
6.3. Ciclos de carga y descarga del condensador de alimentación durante el funcionamiento del sistema. . . . .	90
A.1. Montaje para la caracterización del consumo. . . . .	104
A.2. Captura de ciclos de consumo. . . . .	105

# Índice de cuadros

3.1. Combinación de frecuencias DTMF . . . . .	42
A.1. Consumo estimado máximo de los circuitos del dispositivo. . . . .	104
B.1. Presupuesto del proyecto. . . . .	109



# Glosario

ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
AC	Alternating Current
DC	Direct Current
dpi	dot per inch
DTMF	Dual Tone Multi-Frequency
DTR	Data Terminal Ready
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FSK	Frequency Shift Keying
FTDI	Future Technology Devices International
I2C	inter-Integrated Circuit
ICSP	In-Circuit Serial Programming
ITU	International Telecommunication Union
LED	Light Emitting Diode
LSB	Least Significant Byte
MSB	More Significant Byte
PCB	Printed Circuit Board
PSTN	Public Switched Telephone Network
PWM	Pulse Wide Modulation
RTS	Request To Send
SM-SC	Short Message - Service Center
SMD	Surface Mount Device
SMS	Short Message Service
SPI	Serial Peripheral Interface

SRAM Static Random Access Memory

THT Through-hole Technology

UART Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

USB Universal Serial Bus

# Capítulo 1

## Introducción

En este primer capítulo se describen el contexto del proyecto, los motivos que nos han llevado a su realización, y el objetivo principal que se pretende con su consecución. Igualmente, se presenta la estructura de este documento y se esboza el contenido de sus partes.

Todo ello, a través de las siguientes secciones:

- Domótica, Internet y el Internet de las cosas
- Motivación
- Objetivos
- Contenido de la memoria

### 1.1. Domótica, Internet y el Internet de las cosas

Hace ya más de una década que el concepto de **domótica** comenzó a plantearse como una realidad inminente que llegaría en poco tiempo a los hogares de todo el mundo. Los avances tecnológicos empezaban a permitir la incorporación de sistemas de automatización integrales en hogares y edificios destinados a facilitar las actividades cotidianas, y a la gestión cómoda y eficiente del consumo energético y la seguridad.

Sin embargo, aún hoy día, la automatización en los hogares no ha llegado a popularizarse, siendo pocos los edificios que disfrutaban de un sistema domótico integral y verdaderamente funcional. Frente a esto, sí son comunes las soluciones de automatización fruto de las mejoras y el aumento de prestaciones de los distintos sistemas aislados habituales del hogar.

En gran medida, la causa del incumplimiento de las expectativas se debe a la inexistencia de estructuras de fácil implementación y de un estándar unificado que posibiliten la integración de los diversos sistemas domésticos para conformar una infraestructura domótica general. Una variedad significativa de estándares propietarios y abiertos conviven, haciendo imposible a los fabricantes de electrodomésticos y sistemas del hogar el cumplimiento de todos ellos.



Las ventajas de universalidad de comunicación de los protocolos de Internet, unido a la proliferación de tecnologías inalámbricas que se acogen a dichos estándares, propone un nuevo escenario para el desarrollo de la domótica en el que sus principales inconvenientes han sido superados, y en el que poder alcanzar la difusión esperada.

## 1.2. Motivación

En el contexto anterior, este proyecto pretende **estudiar y formular alternativas para la implementación de soluciones domóticas** que aprovechen las posibilidades de infraestructuras de comunicación ya existentes — destinadas a otros fines —, y que impliquen alguna mejora frente a las propuestas convencionales.

Si bien la venerada Internet brinda multitud de caminos por explorar y se erige como principal solución, todavía encontramos algunos entornos en los que el despliegue de Internet no está disponible, o sencillamente no se adapta adecuadamente a las necesidades de comunicación. Entornos con un despliegue de infraestructura de telecomunicaciones limitado, como pueden ser núcleos rurales o poblaciones con escaso desarrollo.

Por ello, con la finalidad de presentar una solución aceptable a dichas excepciones, así como una alternativa válida, se propone el uso de la infraestructura de **red telefónica pública conmutada (PSTN)**, que no solo convive con la actual infraestructura física de Internet, sino que forma parte de la misma.

Pensada originalmente para los intercambios de voz, fue añadiendo funcionalidades hasta soportar los mecanismos y protocolos actuales para las comunicaciones de datos de las tecnologías móviles e Internet. Es el caso de **servicio de mensajes cortos (SMS)** que, aunque en desuso, es soportada por la red de telefonía fija y móvil, y plantea una opción sencilla y de bajo coste para el intercambio de volúmenes de datos pequeños.

Haciendo uso de la tecnología mencionada, se demuestra como podría diseñarse un sistema domótico sencillo, escalable y de bajo coste, a partir de un dispositivo domótico concreto.

## 1.3. Objetivos

El objetivo del proyecto consiste en el desarrollo de un **dispositivo electrónico destinado a monitorizar la red eléctrica de una estancia o edificio con la finalidad de informar de los cambios** — corte o restauración del suministro eléctrico — **mediante el servicio de mensajes cortos a través de la red telefónica fija.**

Para ello la solución propuesta deberá funcionar en **conformidad con el exigente conglomerado de estándares de la red telefónica pública conmutada.** En particular, los relacionados con la parte de la red correspondiente al bucle de abonado, dentro del cual operará el dispositivo.

Así mismo, se contemplará en todo momento un **diseño funcional y con las interfaces de configuración y uso adecuadas**, que permitan al usuario disponer de un producto intuitivo y sencillo, ocultando en todo momento la complejidad tecnológica subyacente.

Por supuesto, como ya se anticipó en la sección anterior, sin olvidar aquellas prestaciones que sugieran este modo de comunicación como una **alternativa para el desarrollo de aplicaciones domóticas de bajo coste**, en entornos en los cuales Internet no sea lo apropiado o no esté disponible.

## 1.4. Contenido de la memoria

La organización de este documento sigue las etapas habituales de un proyecto de ingeniería. Partiendo de los requisitos, se analizan rigurosamente para comprender a la perfección todos los aspectos que ha de satisfacer la realización del proyecto, y generar distintas alternativas de diseño que permitan alcanzar los resultados deseados.

Tras el análisis se propone el diseño del sistema, sucedido de la implementación. Finalmente, se evalúan los resultados obtenidos y se verifica la concordancia con los requisitos establecidos.

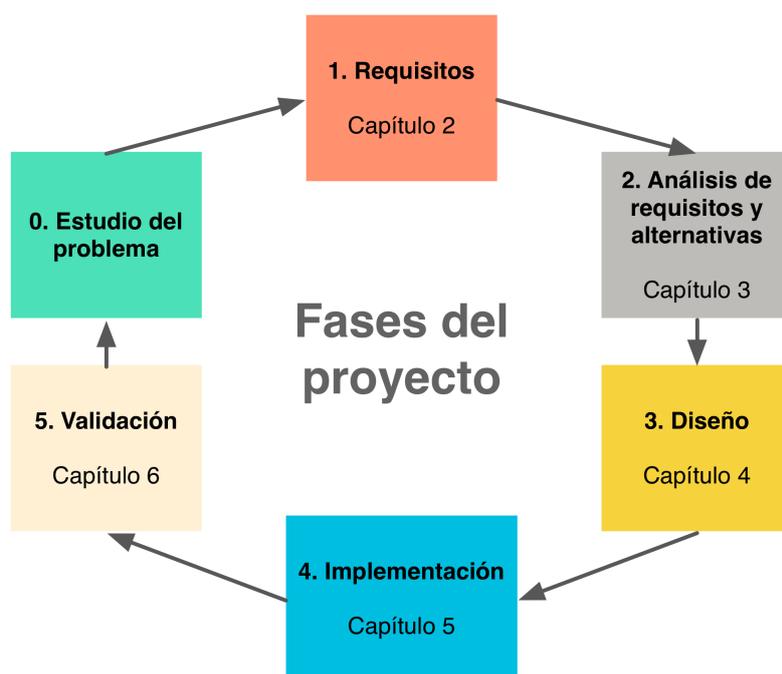


Figura 1.3: Etapas del proyecto de ingeniería.

Adicionalmente, existen varios anexos al final del documento que recogen algunos contenidos de interés asociados al desarrollo del proyecto. La distribución por capítulos es la siguiente:

- *Capítulo 2.* Descripción de los **requisitos** del proyecto.
- *Capítulo 3.* **Análisis de los requisitos** y planteamiento de **alternativas**.

- *Capítulo 4. **Diseño*** del sistema tanto a nivel hardware como firmware.
- *Capítulo 5. **Implementación*** mediante la construcción del dispositivo hardware y la programación del firmware.
- *Capítulo 6. **Validación*** de los resultados obtenidos tras la implementación.
- *Capítulo 7. **Conclusiones*** del proyecto y **líneas futuras de desarrollo**.
- *Anexo A. **Calculos de potencia*** realizados para el diseño del sistema de alimentación.
- *Anexo B. **Planificación*** del proyecto, y **estimación de costes**.



# Capítulo 2

## Especificación de requisitos

En el presente capítulo se detallan cada uno de los requerimientos que han de satisfacerse con la realización del proyecto, principalmente asociados con el funcionamiento del dispositivo y sus aspectos técnicos de diseño. Además se definen algunas obligaciones no estrictamente técnicas. Dicha información se reparte en las secciones:

- Requisitos funcionales
- Requisitos eléctricos
- Requisitos mecánicos
- Requisitos a nivel de proyecto

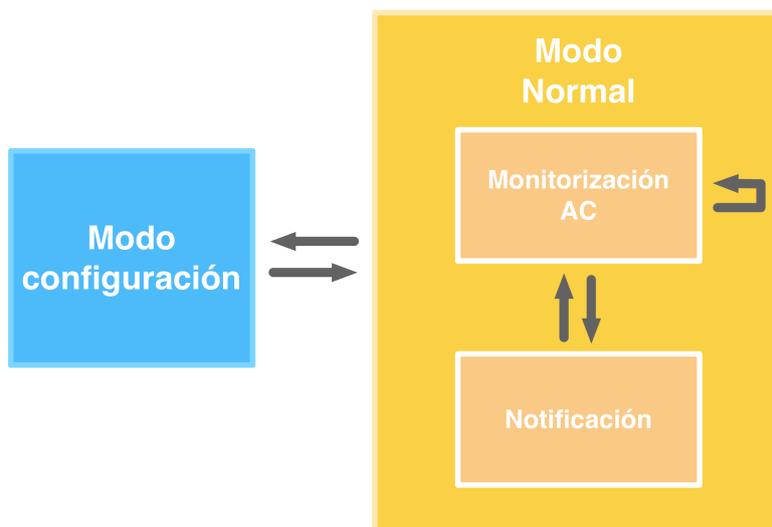
### 2.1. Requisitos funcionales

En relación con el funcionamiento y las prestaciones del sistema, éste ha de cumplir con una serie de requerimientos que garanticen que el resultado obtenido satisfaga las necesidades para las cuales el dispositivo ha sido ideado.

#### 2.1.1. Modos de operación

El sistema debe contar con dos modos de operación, los cuales han de ser **detectados de forma automática** por el propio dispositivo, sin necesidad de activación de uno u otro por parte del usuario. Dichos modos son los siguientes:

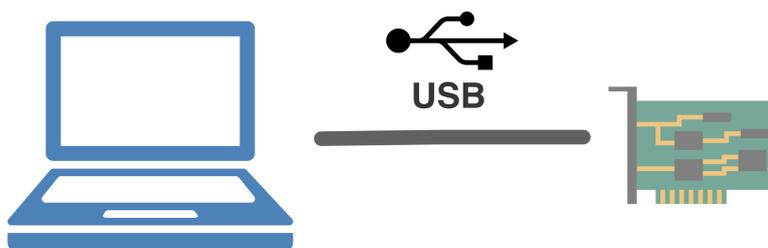
- **Modo configuración.** Debe permitir al usuario introducir los parámetros necesarios para enviar el mensaje de notificación.
- **Modo normal**, o de **monitorización y notificación.** En modo normal de operación el dispositivo **monitorizará la red eléctrica** comprobando regularmente su estado. Ante la detección de un cambio de estado — corte o restauración del suministro eléctrico — el sistema activará los **mecanismos de notificación** para informar de dicho evento al usuario.



**Figura 2.1:** Diagrama de estados del funcionamiento básico del sistema.

### 2.1.2. Interfaz de configuración

La configuración se realizará desde una **computadora de propósito general**, y para la conexión con el dispositivo se utilizará el **puerto USB** — disponible en cualquier computadora actual —, proporcionando la posibilidad de una comunicación serie con el elemento de control lógico del dispositivo, bien mediante el propio protocolo USB, o a través de la emulación del **puerto serie** clásico.



**Figura 2.2:** Interfaz USB para la configuración del dispositivo.

Para introducir los parámetros de configuración, se dispondrá de una **aplicación software sencilla e intuitiva** de tipo **formulario** (Fig. 2.3), en la que poder indicar como mínimo la información asociada al *destinatario* de la notificación.

Por tanto, la configuración de la interfaz serie (búsqueda y reconocimiento del dispositivo, selección de la velocidad, etc) con el dispositivo, así como otras opciones técnicas irrelevantes para la aplicación final, tendrá lugar de forma **transparente al usuario**. Estos parámetros serán seleccionados por el desarrollador de acuerdo a los criterios de implementación apropiados, de forma que garanticen el correcto funcionamiento del sistema.

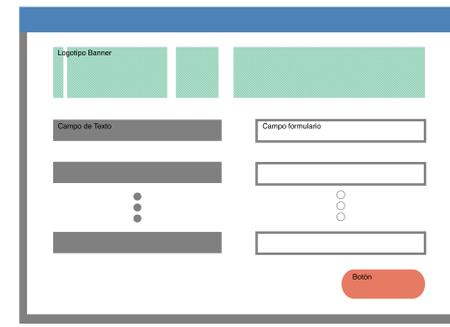


Figura 2.3: Mockup de la interfaz de usuario de la aplicación de configuración.

### 2.1.3. Sistema de notificación

La notificación de los cambios del estado de la red eléctrica se realizará a través del **Servicio de Mensajes Cortos (SMS)**, de acuerdo protocolo segundo del estándar *ETSI ES 201 912*, con título “*Access and Terminals (AT); Short Message Service (SMS) for PSTN/ISDN; Short Message Communication between a fixed network Short Message Terminal Equipment and a Short Message Service Centre*” [24].

En él se detallan protocolos de comunicación a implementar por el dispositivo para hacer uso del servicio a través de la red telefónica fija.

### 2.1.4. Autonomía

Debido al funcionamiento remoto del sistema, se ha de **evitar la utilización de elementos externos de alimentación como baterías o cualquier tipo de sistema susceptible de agotamiento**, que supongan una limitación en la autonomía del aparato.

De este modo, la **alimentación del dispositivo se obtendrá de alguno o varios de los sistemas a los cuales está conectado** en los distintos modos de operación, y que pueden ser capaces de suministrar la energía necesaria para su funcionamiento de forma **ilimitada**.

## 2.2. Requisitos eléctricos

Los requisitos eléctricos del sistema vienen determinados principalmente por dos cuestiones. En primer lugar, las características de consumo del dispositivo. Y en segundo lugar, las exigencias de los estándares de la red telefónica fija que aseguran el correcto funcionamiento del dispositivo en todos sus niveles.

### 2.2.1. Sistema de control lógico

El sistema lógico encargado de coordinar y emplear los elementos de monitorización y notificación consumirá una **potencia máxima instantánea de 300 mW**, utilizando **tensiones de alimentación no superiores a 5V** y una **corriente máxima de 80 mA**.

### 2.2.2. Sistema de monitorización de la red eléctrica

Para la comprobación del estado de la red eléctrica se propondrá una solución lo más sencilla y eficiente posible, con un **consumo inferior a 1 W**.

Por otro lado, dado el alto voltaje de la red (220 VAC) y las diferencias con la tensión de alimentación de los elementos del sistema lógico, es imprescindible la existencia de **aislamiento galvánico** con el resto de la circuitería, bien a través de **transformadores de potencia**, o bien utilizando **acoplamiento óptico**.

### 2.2.3. Conexión con la red telefónica fija

La incorporación del dispositivo como equipo terminal a la red telefónica dentro del bucle de abonado, ha de permitir el correcto funcionamiento del resto de sistemas que pudieran estar compartiendo la línea. Por ello deberá asegurarse el **cumplimiento de los estándares que garanticen la adecuada interacción con la red**.

Estos requerimientos vienen especificados en el estándar *ETSI ES 203 021 “Access and Terminals (AT); Harmonized basic attachment requirements for Terminals for connection to analogue interfaces of the Telephone Networks; Update of the technical contents of TBR 021, EN 301 437, TBR 015, TBR 017”*, partes 2 y 3.

La parte 2, “*Basic transmission and protection of the network from harm*” [27], describe los requerimientos de impedancia, niveles de señal en las distintas bandas de frecuencia, y otros aspectos que evitan el uso inadecuado de la red y su posible daño.

En la parte 3, “*Basic Interworking with the Public Telephone Networks*” [28], se abordan los puntos relacionados con los niveles y la polaridad de la tensión DC, la impedancia, resistencia, y máximo consumo de corriente para los distintos estados de la línea, además de como deben producirse las transiciones entre dichos estados. Así mismo, se especifican la sensibilidad y potencias necesarias en la transmisión de los tonos de señalización, en cuanto a nivel de señal, frecuencias y temporización.

Al acometer el diseño del sistema, es de especial importancia reparar en todas y cada una de las cláusulas que afecten al mismo, y asegurar su aplicación dentro de la solución adoptada. De esta forma, se evitará cualquier perjuicio que se pueda ocasionar a la red telefónica, y se garantizará el adecuado aprovechamiento de los servicios ofrecidos por dicha red.

### 2.2.4. Sistema de notificación

Así como los requerimientos funcionales quedan totalmente especificados en el documento *ETSI ES 201 912* (sección 2.1.3), en él se incluyen referencias a los estándares relativos a las **características físicas de las señales usadas para las transmisiones de los mensajes de notificación**.

El estándar *ETSI EN 300 659-2 “Access and Terminals (AT); Analogue access to the Public Switched Telephone Network (PSTN); Subscriber line protocol over the local loop for display (and related) services; Part 2: Off-hook data transmission”* [15] especifica las características de las señales de envío desde el equipo terminal para las comuni-

caciones de datos bajo el esquema de modulación FSK.

En el caso de las señales de recepción tipo FSK por parte del dispositivo a diseñar, la definición de sus atributos se encuentra en el documento *ETSI ES 200 778-2 "Access and Terminals (AT); Analogue access to the Public Switched Telephone Network (PSTN); Protocol over the local loop for display and related services; Terminal equipment requirements; Part 2: Off-hook data transmission"* [18].

También se deberán satisfacer los parámetros indicados para la señalización relacionada con el marcado en función de las modalidades: *Tono dual multifrecuencia (DTMF)*, o *marcación pulsada*. Esta información está disponible en los estándares *ETSI ES 201 235* [11] y *ETSI ES 201 187* [10], respectivamente.

Por último, la conversión entre señales digitales y analógicas seguirá la recomendación *ITU-T V.23* [3], que establece la normalización del módem a 600/1200 baudios para su uso en la red telefónica general de conmutación, requerido para en el servicio de envío de mensajes.



(a) Logotipo ITU

(b) Logotipo ETSI

Figura 2.4: Organismos de estandarización de telecomunicaciones.

De este modo, el sistema propuesto incluirá implementaciones y elementos electrónicos en el diseño que operen de acuerdo a la normativa indicada, con el fin de asegurar la compatibilidad necesaria a nivel eléctrico que posibilite el funcionamiento adecuado de las comunicaciones.

## 2.3. Requisitos mecánicos

Con la finalidad de obtener un dispositivo con un soporte físico reducido, práctico y seguro, se han de cumplir los siguientes requerimientos de diseño mecánico relativos al montaje de los componentes, y las dimensiones, peso y encapsulado.

### 2.3.1. Montaje de los componentes electrónicos

Características del soporte físico electrónico y de los componentes:

- El montaje de los componentes electrónicos se realizará **sobre una Placa de Circuito Impreso (PCB) a doble cara**.

- En la elección de los dispositivos se optará preferentemente por **componentes de montaje superficial (SMD)**, en favor de una mayor integración y diseño reducido. No existen otras restricciones de encapsulado y dimensiones de dichos componentes, siempre que satisfagan las condiciones de peso y dimensiones generales del dispositivo.
- Los **circuitos conectados a la red eléctrica alterna** se dispondrán sobre la placa convenientemente aislados y **distanciados al menos 5 mm** del resto de los circuitos del diseño.
- Los conectores externos con las distintas interfaces de las que hará uso el dispositivo cumplirán con los estándares mecánicos correspondientes:
  - La **conexión con la red eléctrica** permitirá la utilización de distintas clavijas por medio adaptadores. Por ello, no se incorporará ningún tipo de clavija concreta, sino un **conector hembra bajo la especificación IEC 60320** [35], de acuerdo al resto de especificaciones y criterios de diseño.
  - El **conector con la red telefónica** será de tipo **RJ-11**, de acuerdo con lo sugerido en la norma *ETSI ES 203 021-1* [25].
  - El **conector para la interfaz de configuración** del dispositivo será de **tipo hembra**, conforme al estándar **USB**.

### 2.3.2. Dimensiones, peso y encapsulado

En cuanto a las características mecánicas no relacionadas estrictamente con los componentes electrónicos individuales, el dispositivo constituido por la PCB y los componentes electrónicos deberá presentarse dentro de una **caja o contenedor** que **proteja dicha electrónica, permita un uso práctico del producto y aporte ciertas cualidades estéticas**.

- El **material** de fabricación de dicho contenedor será **ligero y no conductor**. Preferiblemente plástico por sus propiedades claramente ventajosas frente a otros compuestos.
- Las **dimensiones** del conjunto de la PCB y su contenedor **no excederá los 15 cm en ninguna de sus dimensiones** (alto, ancho, largo), con un **volumen no superior a los 500 cm<sup>3</sup>**.
- No existen restricciones concretas de **forma**, más que aquellas que derivan de la aplicación de los criterios de funcionalidad y estética adecuados. El diseño permitirá un **uso cómodo** del aparato en cuanto a su **instalación** y el **acceso a los conectores**.
- El **peso total máximo** del aparato no superará los **250 g**.
- El **ensamblado** de las distintas partes del contenedor y la **sujeción** de la PCB al mismo se realizará mediante **tornillería y/o pestañas**.

## 2.4. Requisitos a nivel de proyecto

Los condicionantes a nivel de proyecto se reducen al tiempo de ejecución y a parte del coste económico:

- La realización del proyecto tendrá una **duración** de aproximadamente **10 meses**, correspondientes a un año académico.
- Al margen de los costes de desarrollo y de los procesos de fabricación, los **materiales** necesarios para la construcción del dispositivo tendrán un **precio límite de 50 € por unidad**.



# Capítulo 3

## Análisis de requisitos y alternativas

Este capítulo comienza con un esbozo del esquema general del sistema a diseñar, a partir del cual se estudian en detalle los distintos bloques teniendo en cuenta las especificaciones, con la finalidad de proponer distintas alternativas posibles que permitan alcanzar la solución ideal. Igualmente, se aborda la descripción de los conceptos más importantes del protocolo de envío de SMS, sobre la que se cimienta el funcionamiento del dispositivo.

El análisis se organiza en cuatro secciones:

- Planteamiento del sistema
- Interfaz con el sistema de configuración
- Interfaz con la red eléctrica
- Interfaz con la red telefónica
- Protocolo de envío de SMS

### 3.1. Planteamiento del sistema

Antes de profundizar en los detalles de funcionamiento del sistema, se presenta un esquema general de los distintos bloques del sistema de acuerdo a su funcionalidad y a la interacción que presenta con los distintos sistemas con los que se relaciona.

Como se deduce de las especificaciones (Capítulo 2), el dispositivo estará conectado a tres sistemas: la **red eléctrica**, la **red telefónica fija**, y el **equipo de configuración**. Por tanto, el diseño sugiere la presencia de un **núcleo lógico** — constituido por un procesador adecuado a las necesidades del sistema — con los **periféricos** pertinentes, y conectado a los **distintos sistemas o redes externas** mediante las **interfaces** apropiadas (Fig. 3.1).

La elección del elemento de control lógico vendrá determinada por las exigencias de capacidad de procesamiento y recursos de memoria de la aplicación. La variedad de procesadores y microcontroladores disponibles en cuanto a prestaciones, tamaños, metodologías de desarrollo, precio, fabricantes, etc., es lo suficiente extensa como para satisfacer los requerimientos solicitados de forma óptima.

Por otro lado, los periféricos pueden formar parte de las interfaces con el resto de los sistemas o ser de uso exclusivo del núcleo lógico del sistema, como por ejemplo, elementos de memoria o indicadores LEDs. En las siguientes secciones, irán apareciendo los periféricos posibles o indispensables a incorporar en la solución.

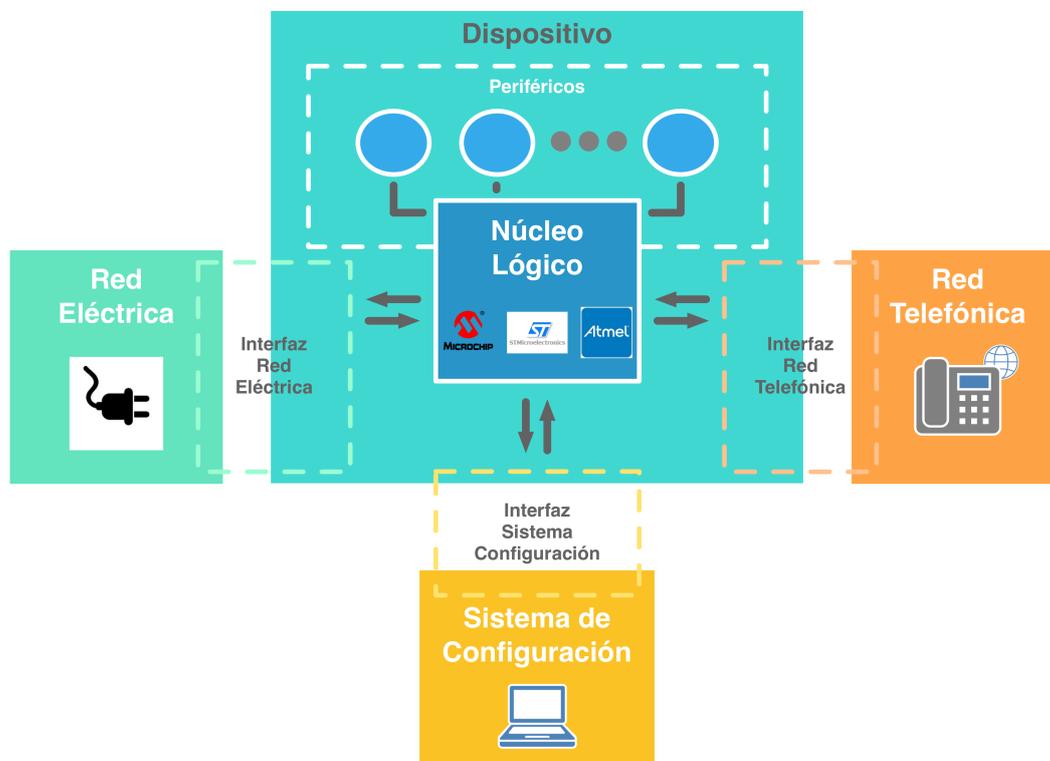


Figura 3.1: Planteamiento general del sistema.

## 3.2. Interfaz con el sistema de configuración

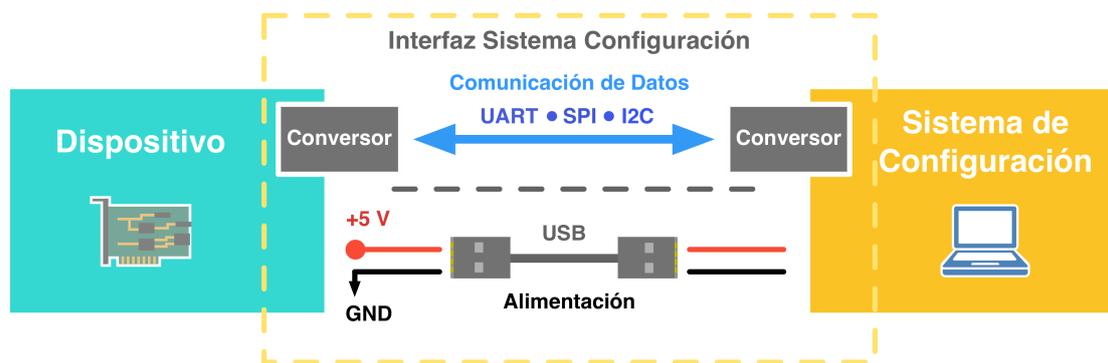
Al margen de las características del software de configuración, el único requerimiento para esta interfaz es el uso de **conexión USB entre el dispositivo y la computadora**, que ejecutará el software con la interfaz de usuario para la configuración.

Por tanto, la comunicación entre ambos extremos de tipo serie ha de llevarse a cabo a través protocolo USB. Si bien el estándar presenta una ventaja evidente debido a la conectividad física al ser adoptado por la totalidad de los ordenadores personales actuales, puede no ser el más indicado para sistemas sencillos debido a la necesidad de altas frecuencias de trabajo y la complejidad del protocolo de comunicación.

Frente a éste estándar, habitualmente los microcontroladores incorporan interfaces de comunicación serie de tipo **UART, SPI o I2C**, entre otros. Estas alternativas ofrecen mecanismos más simples, y posiblemente más adecuados para esta aplicación.

A pesar de la obligatoriedad de utilizar las estructuras físicas del estándar USB, existen soluciones que permiten hacer uso del puerto USB como puerto UART, SPI, I2C... que funcionan como conversores entre protocolos, permitiendo implementaciones de los estándares sencillos, aunque en realidad utilicen el protocolo USB —

ocurriendo esto de forma transparente al desarrollador —.



**Figura 3.2:** Alternativas de comunicación serie y alimentación para la interfaz de configuración.

Al margen de los mecanismos de comunicación, el estándar USB presenta una característica bastante aprovechable, la incorporación de una **línea de alimentación de +5 V**, con un consumo de **corriente máximo hasta 500 mA**.

Recordemos que una de las cualidades del sistema ha de ser su autonomía, sin necesidad de alimentación externa. De este modo, la tarea de alimentar el dispositivo en el modo configuración queda resuelta, siempre que las características de consumo se adapten al estándar USB.

### 3.3. Interfaz con la red eléctrica

La principal tarea a realizar con la red eléctrica consiste en la **monitorización** de su estado. Para ello es necesario **aislar galvánicamente** de forma adecuada el dispositivo, con tensiones de operación muy por debajo de los 220 VAC de la red eléctrica, generalmente en torno a +5 V o inferior (lo más común para los microcontroladores actuales).

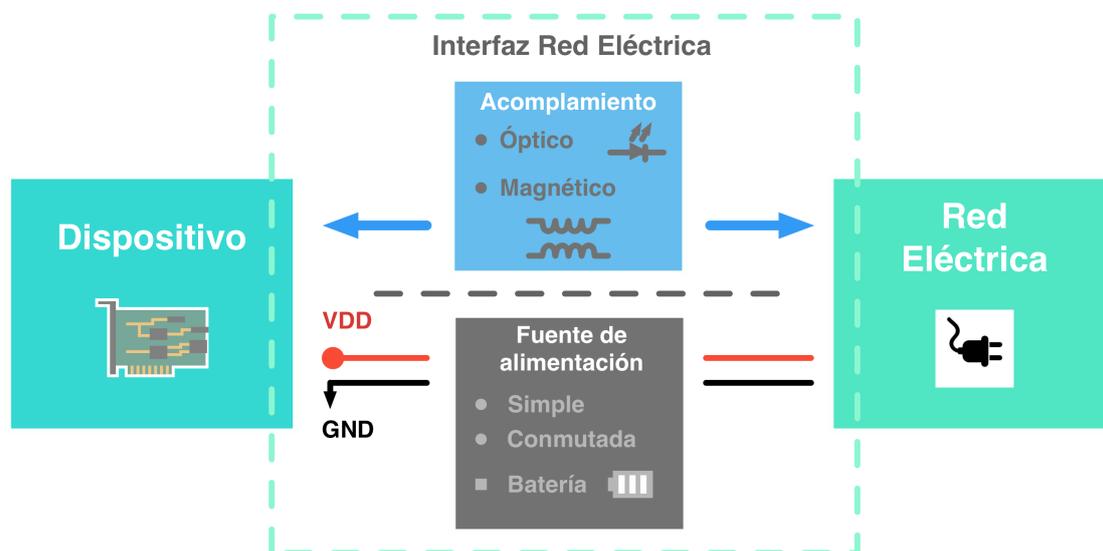
Una forma simple y eficaz de conectar circuitos eléctricos sin que exista contacto físico entre ellos, es mediante **acoplamiento óptico**.

Por otro lado, la utilidad esencial de la red eléctrica es proporcionar energía a cualquier dispositivo eléctrico. Por tanto, la alimentación del dispositivo de aviso desde este sistema se presenta como una opción obvia.

Sin embargo, se han de tener en cuenta varias cuestiones. En primer lugar, el sistema a obtener ha de monitorizar la red eléctrica, es decir, tiene que funcionar cuando permanezca activa, pero también cuando permanezca inactiva. En consecuencia, si se opta por una alimentación a partir de la red eléctrica, el sistema de alimentación deberá incorporar algún elemento de **almacenamiento temporal de energía**, para aquellas situaciones en la que la red eléctrica sea incapaz de proporcionar alimentación.

Otro aspecto importante se trata de de la **complejidad** y el **coste** de los sistemas de rectificación de tensión y conversión de potencia habituales. Por un lado, se dispone de sistemas de alimentación tradicionales basados en transformadores de potencia, y

esquemas de rectificación y conversión sencillos, generalmente aparatosos por el peso y volumen del transformador de potencia. En cambio, las soluciones con volumen y peso reducido atiende a diseños más complejos como las fuentes conmutadas.



**Figura 3.3:** Opciones de la interfaz de la red eléctrica para monitorización y alimentación.

Alternativamente, existen formas de rectificación y conversión de potencia sin necesidad de transformador, con circuitos sencillos y económicos, pero que **no ofrecen el aislamiento eléctrico requerido**.

### 3.4. Interfaz con la red telefónica

La interacción con la red telefónica fija es, sin duda, la solución que más requisitos presenta. Dichas exigencias se entienden por la complejidad de sus sistemas, lo cual permite ofrecer múltiples y provechosos servicios.

Inicialmente se describe brevemente la red correspondiente al **bucle de abonado**, el último tramo de la red que conforma el equipo terminal y la central de conmutación, así como en enlace entre ellos. Puede presentar principalmente **dos estados**, cada uno de ellos impone determinadas condiciones al funcionamiento de los equipos terminales, los cuales han de tenerse en cuenta en el diseño.

El acceso a la red telefónica desde una vivienda o edificio se realiza a través de un **par de cables**, conocidos como *Tip* y *Ring*. Mediante ellos, el equipo terminal — tradicionalmente un teléfono — se conecta a la red telefónica. Desde la central se proporciona un voltaje de alimentación, habitualmente de 48 V DC. .

En estado **inactivo** o **colgado** el circuito está en abierto, y no ofrece ningún camino para que circule la corriente continua. En este estado, el equipo terminal dispone de elementos que puede participar en los mecanismos de señalización (con señales

alternas). Por ejemplo, la recepción de una llamada entrante mediante señales como el tono de llamada.

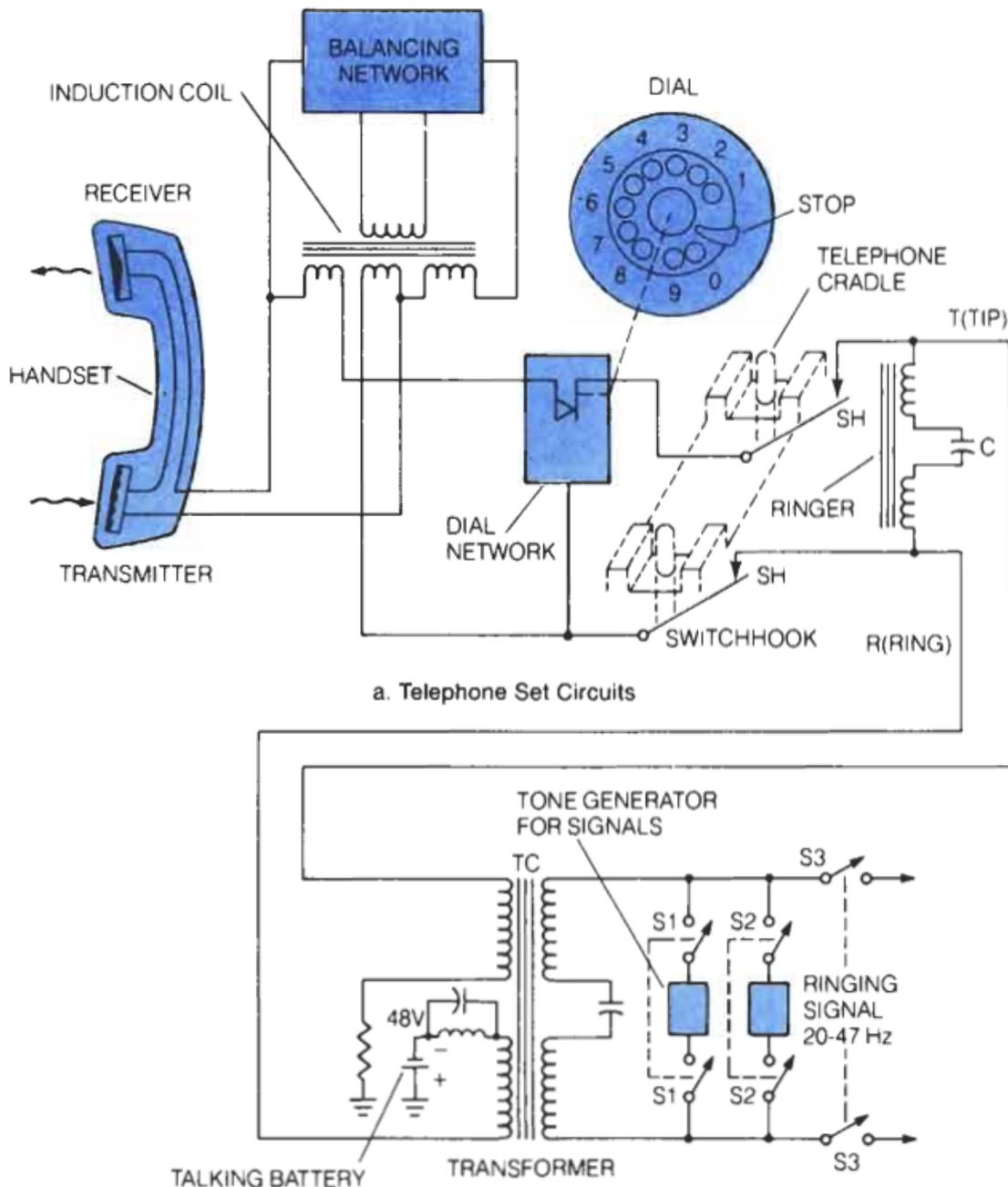


Figura 3.4: Esquema simplificado del bucle de abonado [37].

Para realizar una llamada (o algún otro tipo de transmisión) se ha de pasar a estado **activo** o **descolgado**. Al descolgar se cierra el circuito de continua, indicando a la central que el equipo terminal se ha conectado con la finalidad de iniciar una comunicación. De este modo, desde la central se envía un tono que indica su disponibilidad para recibir el número del destinatario con el cual se desea establecer la comunicación. El bucle permanece en este estado hasta el cese de la comunicación por parte del extremo que inicia la comunicación.

A pesar de que el servicio de mensajería a implementar presenta amplias diferen-

cias, se fundamenta en este funcionamiento. Básicamente, el emisor del mensaje pasa a estado descolgado, de forma que la central comprende su intención de iniciar una comunicación. Tras recibir un tono que indica que la central está disponible, se inicia el proceso de envío de mensaje. Una vez concluido el envío, el equipo terminal vuelve a estado inactivo o colgado.

En referencia a los estándares listados en la sección 2.2.3 del capítulo 2, se reparará en aquellas características que afectan directamente a nuestro sistema, con la finalidad de determinar los elementos que será necesario incorporar al diseño.

### 3.4.1. Alimentación DC

Como se ha anticipado, desde la central se proporciona una **línea de tensión de 48 V DC** en colgado. Si bien, esta tensión no es estándar, y puede variar en función de la implementación del operador de red. Con ella se pueden alimentar los circuitos del equipo terminal, en ambos estados de la línea. Sin embargo, hay que tener en cuenta distintas consideraciones:

#### Polaridad

Desde la red no se garantiza una **polaridad** fija para la tensión. Por ello, es necesario que el dispositivo pueda operar con ambas polaridades.

Una solución clásica para asegurar una polaridad concreta independientemente de la polaridad de la línea es el uso de un **punto rectificador** o **punto de diodos**.

#### Niveles de tensión

La línea mantiene los 48 V en descolgado porque el circuito está abierto. En cambio, **al descolgar** el circuito se cierra y **la tensión disminuye notablemente**. Esto se debe a la impedancia de la línea, habitualmente mayor a la del equipo terminal — dicha impedancia depende principalmente de la distancia a la central —, de modo que la tensión se reparte entre ambos elementos, acaparando la línea mayor tensión. La tensión que queda disponible para el equipo terminal puede llegar a los 6-7 V.

Esta circunstancia es indispensable tenerla en cuenta en el diseño, para la correcta operación del sistema.

#### Corriente DC

La condición de *colgado* o *descolgado* viene marcada, en realidad, por unos valores límite de **consumo de corriente** por parte del equipo terminal. Como se verá en los requisitos para ambos estados en las siguientes secciones (3.4.2 y 3.4.3), en función de la resistencia que presente el equipo terminal se asume un estado u otro.

Estas particularidades imponen numerosas restricciones en las posibilidades de la red telefónica como sistema de alimentación del dispositivo.

### 3.4.2. Estado colgado

El estado de colgado o inactivo ha de contemplar los siguientes requisitos, que al tiempo que definen dicho estado, permiten el correcto funcionamiento de diversos mecanismos de la red.

#### Resistencia DC

La resistencia DC que presenta el equipo terminal debe ser suficientemente alta para no afectar a los mecanismos de señalización y para prevenir el mal funcionamiento del resto de equipos de la red, así como otros terminales que puedan estar conectados en paralelo.

La **corriente consumida** no debe superar aquella que disiparía una resistencia de **4 M $\Omega$**  cuando la **tensión de alimentación es de 100 VDC, 50 VDC o 25 VDC**. Si existe un terminal único, **1 M $\Omega$**  es aceptable.

Por tanto, el estándar sugiere un consumo en colgado no superior a **48  $\mu$ A** en el mejor de los casos. Una corriente bastante limitada incluso para dispositivos de bajo consumo.

#### Impedancia

La impedancia ante señales alternas (como tonos de llamada) debe ser superior a **16 k $\Omega$  para una tensión de 30 Vrms**.

Así mismo, la corriente disipada ante dichas señales entrantes no puede implicar la transición a descolgado. Para ello, la corriente consumida por el equipo terminal en estado inactivo ante una excitación de este tipo debe ser **inferior a los 25 mA tras 1 ms, e inferior a 10 mA tras 6 ms**.

Una vez la señal alterna ha alcanzado una **condición estacionaria**, la **corriente DC** consumida por el equipo terminal cuando se le aplica una **tensión de 90 Vrms** debe ser **inferior a 0.6 mA**.

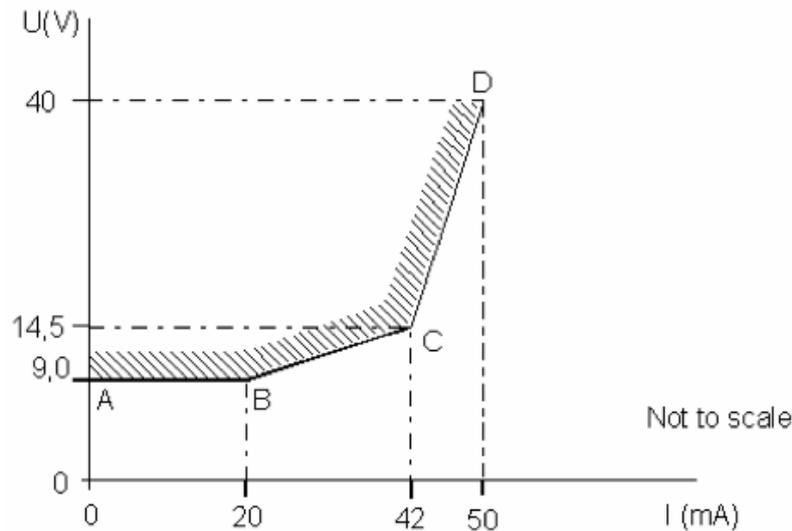
Aunque en principio la recepción de llamadas no es una característica que deba preocupar al diseño del sistema, hay que tener en cuenta que el dispositivo puede operar junto con otros equipos terminales en paralelo dentro de la red, que sí pueden hacer uso de estas señales. De modo que aunque las funcionalidades de recepción no sean implementadas, en este punto concreto ha de satisfacerse la conformidad con el estándar para impedir un funcionamiento inapropiado de la red, y su efecto negativo sobre la misma y sobre otros posibles usuarios.

### 3.4.3. Estado descolgado

Para que la ocupación de la línea se haga efectiva, el equipo terminal ha de mantenerse descolgado durante **al menos 1.2 s** con un consumo de corriente tal que si se conectase un resistor entre **2800  $\Omega$  y 400  $\Omega$**  a una **fuentes de 50 V DC**.

### Corriente DC

La corriente DC que debe consumir el equipo terminal ha de encontrarse dentro la curva de corriente y voltaje de la figura 3.5.



**Figura 3.5:** Relación de voltaje - corriente en estado descolgado [28].

El rango de corriente se encuentra entre los **20 mA** y los **50 mA**. Estos rangos de corriente y tensión sí proporcionan una potencia con la que poder alimentar diversas soluciones de bajo consumo.

### Impedancia

Las **pérdidas de retorno no deben ser menores de 8 dB** en el intervalo de frecuencias de **300 a 4000 Hz**, y **superiores a 6 dB** entre **200 y 300 Hz**, con respecto a una impedancia de referencia compuesta por una resistencia de  $270 \Omega$  en serie con un paralelo formado por una resistencia de  $750 \Omega$  con un condensador de  $150 \text{ nF}$ .

Este aspecto tendrá un importante efecto en la recepción de las señales relativas al envío de los mensajes cortos, y deberá satisfacerse estableciendo las redes eléctricas adecuadas.

#### 3.4.4. Transiciones entre colgado y descolgado

Las transiciones **del estado de colgado a descolgado** han de realizarse en un intervalo no superior a **30 ms**. **Una vez en la condición de descolgado**, esta ha de mantenerse durante al menos **500 ms**, periodo durante el cual **se permiten transiciones** entre el colgado y descolgado. Posteriormente, en condición **estacionaria** del estado de colgado, ésta ha permanecer durante un tiempo **mínimo de 1.2 s**.

Para las transiciones de **descolgado a colgado**, cuando el equipo terminal equivale a una resistencia de  $2050 \Omega$  y está conectado a una fuente de **50 V DC**, la corriente debe **bajar a 0.5 mA** en un tiempo inferior a **200 ms**. Para que se considere una

nueva transición de colgado a descolgado debe permanecer en en estas condiciones durante al menos 1.5 s.

La referencia del paso de descolgado a colgado se define como el momento en el que **la corriente baja por primera vez a 10 mA**, y permanece por debajo de dicho valor **durante al menos 20 ms**.

Teniendo en cuenta las condiciones de cada uno de los estados y las transiciones entre ellos, es importante disponer de algún esquema circuital que pueda activarse mediante **algún tipo de interruptor** que permita **transiciones prácticamente inmediatas**. Para ello hay que evitar el uso de elementos activos como condensadores e inductores con grandes constantes de tiempo.

### 3.4.5. Señales de envío y recepción

El servicio de envío de mensajes requiere que el sistema sea capaz de detectar y generar los tonos habituales de señalización para llamadas telefónicas. Adicionalmente, los datos correspondientes al mensaje se transmiten modulados en FSK, con unas características concretas, que el sistema debe poder transmitir e interpretar.

Como norma general la potencia de las señales de envío en el rango de frecuencias **desde 200 a 3800 Hz** (en el cual operará el sistema en cuestión) **no deben exceder los -9.7 dBV en un periodo de un minuto**, cuando el equipo terminal tiene como terminación una impedancia de referencia compuesta por una resistencia de 270  $\Omega$  en serie con un paralelo formado por una resistencia de 750  $\Omega$  con un condensador de 150 nF.

Igualmente, el voltaje instantáneo **no debe superar los 5 Vpp** en dicho intervalo de frecuencias.

Las propiedades del resto de señales se detallan con más concreción a continuación.

#### Señalización

El proceso de envío de mensajes cortos comienza con una llamada telefónica a un servidor automático, el centro de mensajes. Para realizar la llamada por parte del dispositivo — además de realizar pasar a estado descolgado —, este ha de poder ser capaz de **detectar el tono de marcado**. Este tono de 400 Hz indica al equipo terminal que la central ha detectado la condición de descolgado, y que se encuentra disponible para recibir indicaciones desde el equipo terminal.

Posteriormente, el dispositivo realiza el marcado, enviando a la central el número del destinatario — el centro de mensajes — mediante señales *Dual Tone Multi-Frequency* [11]. Dicho esquema utiliza una combinación de dos frecuencias para identificar cada un dígito concreto (Cuadro 3.1).

Además, han de cumplir las siguientes características:

- El nivel de señal para las **frecuencias altas** **deber ser -9.0 dBV +2.0/-2.5 dB**, y el nivel de las **frecuencias bajas** **será de -11.0 dBV +2.5/-2.0 dB** (con respecto

Low group (Hz)	High group (Hz)			
	1 209	1 336	1 477	1 633
697	1	2	3	A
770	4	5	6	B
852	7	8	9	C
941	*	0	#	D

**Cuadro 3.1:** Combinación de frecuencias DTMF [11].

a la impedancia de referencia  $270 \Omega$  en serie con un paralelo formado por una resistencia de  $750 \Omega$  con un condensador de  $150 \text{ nF}$ ).

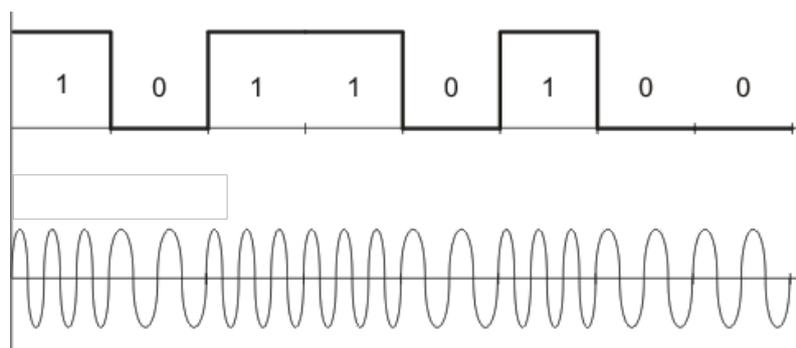
- Los tonos de alta frecuencia han de tener **entre 1 dB y 4 dB por encima** de los de baja frecuencia.
- Las **señales indeseadas** en el rango de frecuencias de **250 a 4300 Hz** deben tener **al menos 20 dB menos que los tonos de bajo de frecuencia**.
- La **duración de cada combinación de tonos**, así como la **pausa posterior** ha de ser como **mínimo de 65 ms**.

En consecuencia, el dispositivo deberá incorporar los elementos necesarios para la recepción y generación de estas señales. Frente a la posibilidad de plantear un diseño desde cero, existen diversos circuitos integrados diseñados específicamente para este fin, fáciles de incorporar al diseño, con dimensiones y coste reducido. Estos últimos se presentan, sin duda, como la opción más adecuada.

### Envío de mensajes mediante señales FSK

En gran parte, la comunicación a través de mensajes cortos tiene lugar en el plano digital. El procesamiento y las transmisiones digitales son responsabilidad del núcleo lógico.

En cambio, los intercambios de datos en la parte del bucle de abonado de la red telefónica son analógicos. En concreto para los SMS, las tramas de ceros (espacios) y unos (marcas) utilizadas en la comunicación digital se modulan mediante desplazamiento en frecuencia (FSK) convirtiéndose en **dos señales sinusoidales de 1300 y 2100 Hz**, respectivamente.



**Figura 3.6:** Señal FSK.

Para dicha comunicación se implementará un **canal semi-dúplex** entre el equipo terminal y la central.

La potencia de las señales de **envío será de -14.5 dBV +/-2.5 dB**, y en la **recepción** el dispositivo debe ser capaz de demodular señales **entre -8 dB y -36 dB**, con un diferencia entre símbolos no superior a 6 dB.

Por consiguiente, para poder modular y demodular las señales digitales el sistema dispondrá de un **módem** específico para el cumplimiento del estándar **ITU V.23** [3], el cual recoge las características mencionadas. En el lado digital, la comunicación núcleo lógico y módem tendrá lugar mediante el **protocolo serie UART**, que es la opción más común, simple y efectiva.

Otro aspecto esencial a tener en cuenta tanto para las señales FSK como para la señalización DTMF, es el **desacoplo de la tensión DC**. La superposición de la tensión continua en muchos casos implicará exceder los niveles de potencia permitidos por parte de los elementos electrónicos destinados a procesar estas señales.

Por consiguiente, será necesario incorporar **redes capacitivas o transformadores de señal** que bloqueen las señales continuas y permitan el paso de las señales alternas de interés, evitando en la medida de lo posible la degradación de dichas señales.

### 3.4.6. Síntesis de alternativas para la conexión con la red telefónica

Una vez analizadas en detalle las particularidades de los estándares indicados en el capítulo 2 de especificaciones, y bosquejadas las implicaciones en cuanto a posibilidades de diseño y elementos necesarios a implementar, se resumen todas ellas en esta sección.

Se han de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La red telefónica constituye una opción de **alimentación** para el dispositivo. Si bien, son diversas las consideraciones a tener en cuenta para obtener la energía necesaria sin interferir en el correcto funcionamiento de la red telefónica. Dado el voltaje y la polaridad de la tensión, el diseño requerirá elementos de **rectificación** y **conversión** de potencia.
- Los estado de *colgado* y *descolgado* vienen definidos por unos valores de resistencia e impedancia equivalente del equipo terminal y rango de consumo de corriente. La solución más inmediata para pasar de uno a otro estado pasa por el uso de un **interruptor** dentro del esquema eléctrico.
- La funcionalidad de envío de mensajes requiere la generación de **tonos DTMF**, y el envío y recepción de **señales FSK**. Por tanto, el sistema deberá incluir los **transceptores** adecuados para poder trabajar con dichas señales.

Así mismo, en el diseño se ha de tener en cuenta la necesidad de **desacoplar la tensión de alimentación** continua de estas señales alternas.

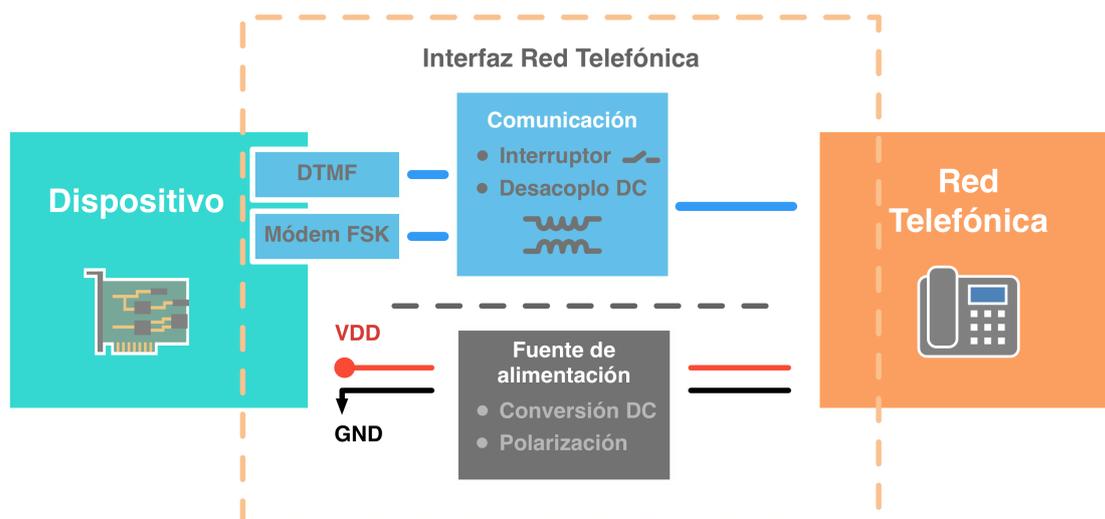


Figura 3.7: Opciones de la interfaz de la red telefónica para comunicación y alimentación.

### 3.5. Protocolo de envío de SMS

El protocolo de envío de mensajes cortos se describe en su totalidad en el documento ETSI ES 201 912 [24]. Esta sección se centra en los aspectos más importantes necesarios para el diseño del software que implementará el protocolo.

El envío de mensajes cortos desde un equipo terminal de la red telefónica fija siempre se **inicia con una llamada al centro de mensajes cortos (SM-SC)**. Si la conexión con la central se efectúa correctamente, ésta **envía un mensaje que indica al equipo terminal que puede iniciar el envío del SMS principal**. Seguidos del mensaje principal se intercambian varios mensajes de confirmación y validación.

#### 3.5.1. Formato de mensajes

En primer lugar, se describen las estructuras de datos con las que opera el protocolo de envío de mensajes cortos para la red telefónica fija.

De acuerdo a la **arquitectura habitual de un sistema de comunicación**, el protocolo se divide en capas, partiendo de la **capa física**, hasta la **capa de aplicación**.

El protocolo hace uso de tramas FSK de acuerdo a las normas ETSI EN 300 659 - 2 [15] y ETSI ES 200 778 - 2 [18], como ya se anticipó en el capítulo 2 de especificaciones. Y como ya se ha contemplado en la sección precedente.

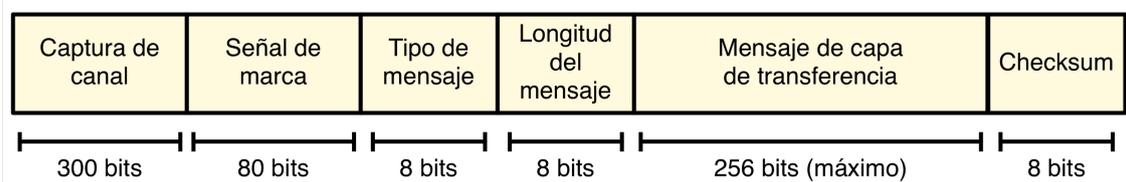
El **enlace de comunicación** se establece a partir de un circuito semi-dúplex, en conformidad con el estándar **ITU V.23**.

La implementación de estas normativas construyen la **capa física**, proporcionando la estructura física y definiendo las señales eléctricas que circulan por ella.

La **capa de enlace de datos**, se encarga de **capturar el canal, enviar tramas para la sincronización del receptor, y del control de errores**. Para ello, se hace uso

de la estructura de trama de la figura 3.8.

- **Captura del canal** . Señal de 300 bits alternando espacios (0) y marcas (1), y comenzando por un espacio.
- **Señal de marca**. Señal de 80 bits  $\pm$  25 de marca (1).
- **Tipo de mensaje** (1 octeto). Este campo diferencia el tipo de carga de la trama. Además del mensaje con la información del mensaje de texto, existen mensajes de confirmación para garantizar las transferencias, y otros de gestión del enlace. El bit más significativo del octeto tiene el valor uno cuando la carga se fragmenta en varias tramas de la capa de enlace de datos. El último fragmento mantiene este bit con valor 0, indicando el fin del mensaje. Igualmente, los mensajes de transferencia que precisan de una sola trama mantienen este bit a 0.
- **Longitud del mensaje** (1 octeto). Longitud del mensaje de transferencia, con un máximo de 255 octetos (no se incluyen en el computo el resto de campos).
- **Mensaje de capa de transferencia** (max. 255 octetos). El mensaje de transferencia, el cual contiene la información del SMS se compone diversos campos, que se describen seguidamente.
- **Checksum** (1 octeto). Este campo se construye a partir del complemento a dos de la suma módulo 256 de todos los campos de la trama (excluyendo el propio campo de checksum).



**Figura 3.8:** Estructura de una trama del nivel de enlace de datos.

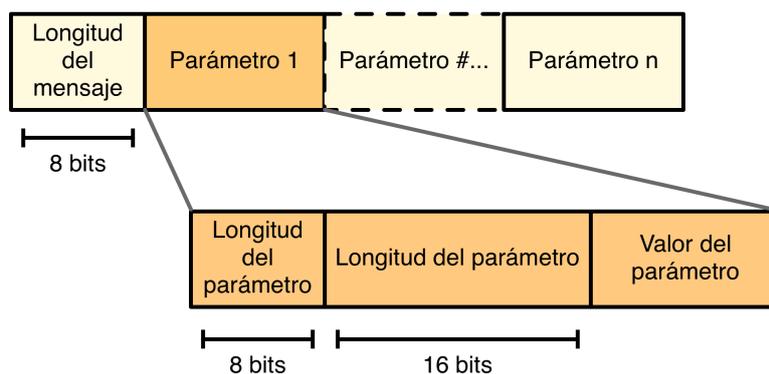
La **capa de transferencia** es la que proporciona el **contenido del mensaje SMS**. La estructura del mensaje viene representada en la figura 3.9.

El primer campo se trata de la **longitud del mensaje**. Representado por **dos bytes**, primero el byte menos significativo, y posteriormente el más significativo [LSB primero, MSB último].

Tras este campo de suceden tanto **parámetros** como requiera (y pueda albergar el mensaje de transferencia) el tipo de mensaje a enviar. Cada uno de estos parámetros cuenta con 3 campos:

- **Nombre** (1 octeto). Código de identificación del tipo de parámetro.
- **Longitud** (2 octetos). Longitud del parámetro, al igual que el campo de longitud total, el primer byte es el menos significativo, y el segundo byte el más significativo.

- **Valor** (1 octeto). Valor del parámetro especificado, con la longitud indicada.



**Figura 3.9:** Estructura del mensaje de la capa de transferencia.

En el intercambio de la aplicación a desarrollar solo se envían **dos tipos de mensajes de transferencia**. Cada uno de ellos incorpora solo unos pocos parámetros de una colección de 20 posibles. Los mensajes usados en esta aplicación así como sus parámetros son los siguientes:

- **SMS\_SUBMIT**. Usado por el equipo terminal para enviar el SMS al centro de mensajes. Aparte del campo de longitud, cuenta con los siguientes parámetros:
  - *Identificador de medio*. Parámetro que identifica el tipo de mensaje: datos, voz, email, fax, telegrama o SMS.
  - *Versión Firmware*. El valor del parámetro por defecto es cero.
  - *Identificador de proveedor SMS*. Código asociado al proveedor de servicios.
  - *Cuerpo del mensaje*. El mensaje de texto en sí.
  - *Identidad del terminal origen*. Identifica un terminal de origen determinado si existen varios terminales conectados a una única línea telefónica. Por defecto toma valor 1.
  - *Identidad de la línea destino*. El número telefónico al cual está destinado el mensaje.
  - *Identidad del terminal destino*. Identifica el terminal de destino determinado si existen varios terminales conectados a una única línea telefónica. Por defecto toma valor 1.
  - *Notificación*. Indica si se ha de enviar (o no) una confirmación de que el mensaje a llegado al destinatario.
- **SMS\_SUBMIT\_REP**. Mensaje enviado desde el centro de mensajes confirmando o rechazando el mensaje SMS\_SUBMIT. Además del campo de longitud, contiene los siguientes parámetros:
  - *Tipo de respuesta*. Código que confirma o rechaza la recepción de un mensaje de tipo SMS\_SUBMIT, informando de la causa en caso de mensaje erróneo.

El resto de tramas de enlace de datos intercambiados — desarrollados en el siguiente apartado — no transportan mensajes de transferencia, y solo alcanzan hasta la capa de enlace de datos.

### 3.5.2. Intercambio de mensajes

Los mensajes intercambiados y su orden dependen de la implementación que decida el proveedor de servicios, ya que existen distintos tipos de mensaje que aportan distintas utilidades adicionales al mensaje de texto.

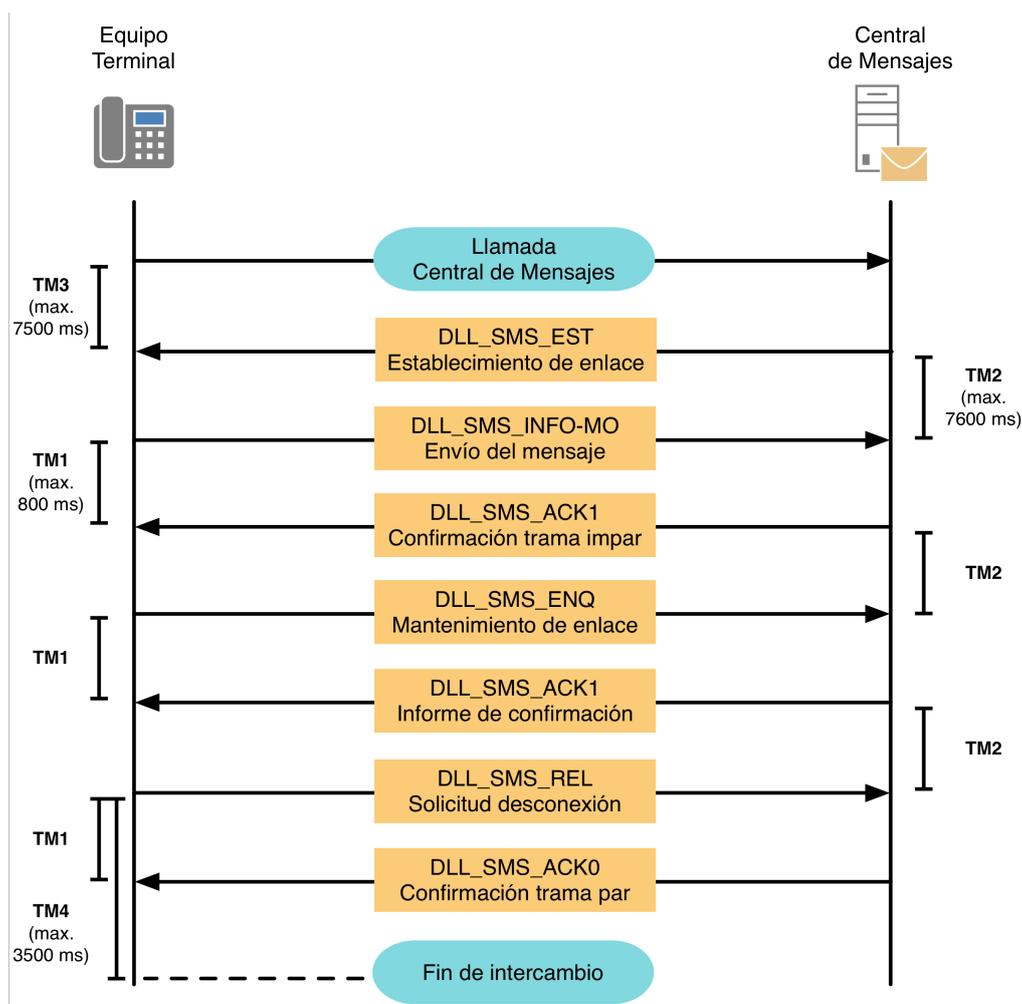
Seguidamente se describe el intercambio que requiere la implementación particular de la red en que se ha desarrollado el proyecto.

Asimismo, en la figura 3.10 se puede observar gráficamente la secuencia de mensajes intercambiados entre ambos extremos.

Tras la **llamada desde el equipo terminal a la central de mensajes** se sucede el siguiente intercambio:

1. **DLL\_SMS\_EST**. Cuando la central de mensajes acepta la llamada, envía al equipo terminal un mensaje de indicando el **establecimiento** de la capa de enlace.
2. **DLL\_SMS\_INFO-MO con SMS\_SUBMIT**. Una vez reconocido el establecimiento del enlace por el equipo terminal, **se envía el mensaje principal** que contiene toda la información del SMS.
3. **DLL\_SMS\_ACK1**. Si el mensaje se ha recibido correctamente, la central de mensajes envía una **confirmación positiva** ACK1 (numeración utilizada para la recepción de un paquete impar).
4. **DLL\_SMS\_ENQ**. Mediante el paquete de **consulta** el equipo terminal indica a la central de mensajes que **el enlace se mantenga activo**.
5. **DLL\_SMS\_ACK1 con SMS\_SUBMIT\_REP**. La central de mensajes responde **confirmando positivamente** de nuevo con ACK1, a la vez que incluye el informe SMS\_SUBMIT\_REP que confirma la correcta recepción del SMS al centro de mensaje, o lo rechaza indicando la causa del error.
6. **DLL\_SMS\_REL**. El equipo terminal solicita **liberar** el enlace al centro de mensajes.
7. **DLL\_SMS\_ACK0**. El centro de mensajes responde **confirmando** positivamente el mensaje de fin de conexión.

En cada extremo, para cada evento de envío y posterior respuesta, existen **temporizadores** (Fig. 3.10) definidos que controlan el **tiempo máximo** que se debe esperar a dicha respuesta. También se especifica en la norma, **la acción a realizar en caso de que dicho temporizador expire**.



**Figura 3.10:** Secuencia de mensajes del protocolo de SMS intercambiados entre el equipo terminal y el centro mensajes.

### 3.5.3. Implicaciones en el diseño

En definitiva, la implementación del protocolo conlleva el uso de un **dispositivo de control lógico** con la **capacidad de procesamiento y memoria suficiente**, y que cuente con las interfaces adecuadas para la **comunicación serie** con los circuitos **de generación y recepción de las señales** — el módem— utilizadas por el protocolo.

La funcionalidad del protocolo SMS, así como la interacción y el control con el resto de interfaces y circuitos que componen el sistema, sugiere de forma manifiesta la utilización de un **microcontrolador** o **microprocesador** — con su correspondiente configuración de memoria — que ofrezca la mejor solución posible para la implementación de estos procesos. En este sentido, no existe ninguna dificultad dada la innumerable cantidad de componentes disponibles.

# Capítulo 4

## Diseño

Una vez examinadas las necesidades del proyecto y las alternativas de diseño se expone la solución elegida, llevada a cabo desde un enfoque *abajo-arriba*. En primer lugar, se presentan los esquemas electrónicos partiendo del diagrama de bloques, para luego detallar minuciosamente cada uno de las partes del esquema completo. Y posteriormente, se describe el software del sistema a nivel funcional.

El contenido se distribuye en las secciones:

- Hardware
- Firmware

### 4.1. Hardware

En esta sección se describen circuitos electrónicos que componen el hardware del sistema, con la finalidad de explicar completamente el funcionamiento eléctrico de cada una de las partes del dispositivo. Para ello se parte del diagrama de bloques. Seguidamente, se introducen los componentes principales del esquemático, el cual se presenta a continuación al completo para ser analizado bloque a bloque.

#### 4.1.1. Diagrama de bloques

En la figura 4.1 se representa un esquema simplificado de los subsistemas que conforman el dispositivo. Como componente central del dispositivo se dispone de un **microcontrolador**, que conectado a los distintos subsistemas ejecuta el flujo lógico del sistema a partir de sus elementos de procesamiento y memoria.

Para **monitorizar la red eléctrica** se dispone de circuito con **acoplamiento óptico**, desde el cual el microcontrolador puede comprobar el estado de la misma. La conexión con la red se realiza directamente mediante un conector IEC 60320 de tipo C7.

La comunicación con la computadora de configuración precisa de un dispositivo de **conversión USB a UART**. Bajo este último estándar se transferirán los datos de configuración al dispositivo. Para la conexión física con el computador se dispone de un receptáculo de tipo mini AB.

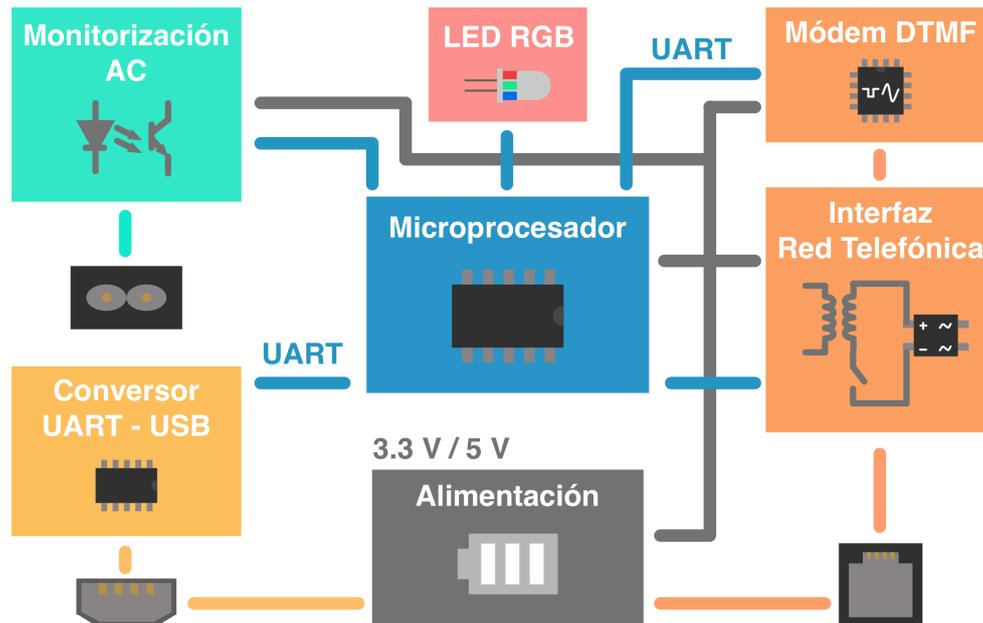


Figura 4.1: Diagrama de bloques del sistema.

El subsistema que interactúa con la **red telefónica** necesita componentes que permitan la **modulación** y **demodulación** de las señales FSK para el envío del mensaje, un **generador DTMF**, y la **interfaz de conexión** adecuada con la red — transformador de señal, interruptor de colgado/descolgado y rectificación de tensión —.

El protocolo de comunicación entre el módem y el microcontrolador será **UART**.

En cuanto a la conexión física con la red telefónica, se dispone de un receptáculo RJ-11 como es sugerido por los estándares.

El esquema de **alimentación** contempla los distintos modos de funcionamiento. Por un lado, el **modo de configuración** aprovecha las líneas de **tensión USB**. Mientras que el **modo normal** tomará la energía eléctrica de la **red telefónica**.

También se incorpora el circuito ICSP de programación del microcontrolador (aunque solo es necesario durante el prototipado) y un **LED RGB** para indicación de los estados del sistema, y de gran utilidad para las labores de depuración durante el desarrollo.

#### 4.1.2. Selección de componentes

Antes de adentrarnos en el esquemático completo, listaremos los componentes principales que asumen las funciones más importantes e imponen el resto de la electrónica auxiliar del diseño.

##### Microcontrolador PIC16F1828

El microcontrolador PIC16F1828 [33] de Microchip, cuenta con todas las funcionalidades necesarias para interactuar con el resto de subsistemas del dispositivo. Las características más relevantes que atañen al diseño son:

- Arquitectura 8 bits.
- Frecuencia de reloj hasta 32 MHz.
- Voltaje de operación entre 1.8 y 5.5 V.
- Modos de bajo consumo (incluso por debajo del orden de mA).
- In-Circuit Serial Programming.
- 18 pines I/O configurables.
- Hasta 3 timers de 8 y 16 bits configurables.
- Múltiples modos de interrupción internos y externos.
- Funcionalidades analógicas de captura, comparación, PWM, etc..
- 4 KB de memoria flash.
- 256 B de memoria EEPROM.
- 256 B de memoria SRAM.



**Figura 4.2:** Logo Microchip.

### **Convertor USB-UART FTDI FT230X**

El chip FT230X [34] es un convertor USB a UART. Este gestiona el protocolo USB enteramente en el chip y no requiere programación firmware específica.

El integrado de FTDI proporciona una solución sencilla y completa. Tan solo requiere la instalación de unos drivers en el computador que permiten el uso del puerto USB como si de un puerto serie se tratase: selección de velocidad, número de bits, paridad, etc.

Así mismo, dispone de otras funciones como pines I/O configurables, drivers para incorporar LEDs de envío y recepción, posibilidad de configuración de múltiples parámetros en la ROM.

En cuanto a la alimentación, permite alimentarlo desde el propio bus USB o externamente, y ofrece un consumo muy reducido, con una corriente típica de 8 mA.



**Figura 4.3:** Logo FTDI.

### Módem V.23 73M2901CE

El módem de Maxim Integrated 73M2901CE [30] constituye una solución integrada en un solo chip con múltiples configuraciones de velocidades y modulaciones habituales de las aplicaciones de datos en el bucle de abonado de la red telefónica.

Adicionalmente, incluye multitud de funciones relacionadas con la realización y gestión de llamadas, como *Call Progress Support*, *Caller ID*, o mantenimiento de una lista negra, entre otras.

Por supuesto, permite la generación y detección de señales DTMF, entre los módem estándares se incluye el V.23 (el requerido para el servicio SMS), y ofrece configuraciones complementarias como mecanismos y circuitos de comprobación de *línea en uso y descolgado paralelo*.

Acorde a las necesidades de consumo reducidas, el chip opera con tensiones entre 2.7 y 3.6 V, y la corriente típica es de unos 9.5 mA.



Figura 4.4: Logo Maxim Integrated.

### 4.1.3. Esquemático

Presentados los principales componentes que vertebran el resto del diseño, se muestra el esquemático completo del dispositivo en la página siguiente.

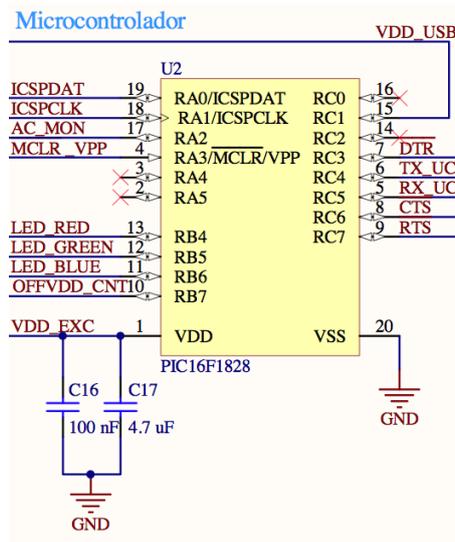
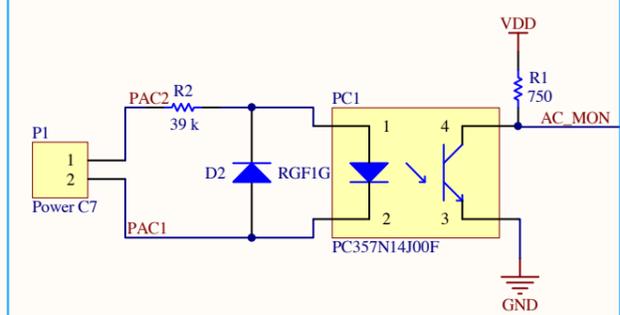


Figura 4.5: Microcontrolador y sus conexiones.

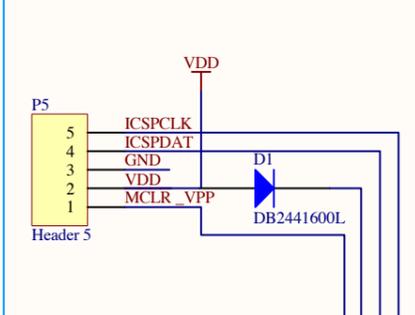
En el centro del esquema se dispone el **microcontrolador** (Fig. 4.5), y sus conexiones correspondientes con el resto de subsistemas. Este componente apenas requiere electrónica auxiliar, así que tan solo se han añadido un par de condensadores de bypass *C16* y *C17*, junto al pin de alimentación VDD (1). Incluso para evitar el uso de oscilador externo, se han aprovechado los modos internos que ofrece el microcontrolador.

El resto de los circuitos se discuten a continuación en sus apartados correspondientes.

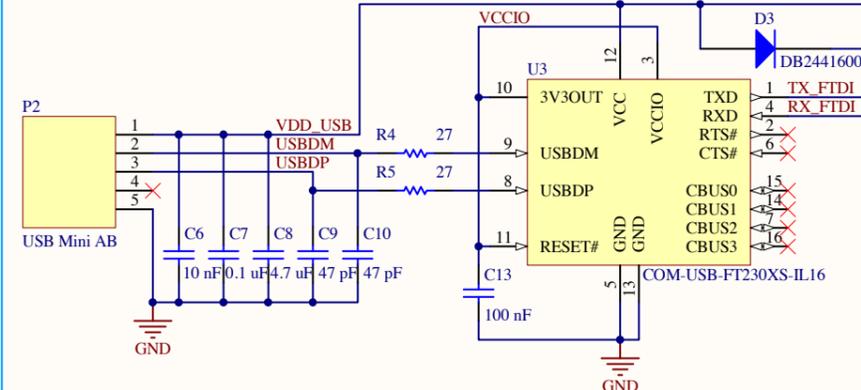
Interfaz Monitorización AC



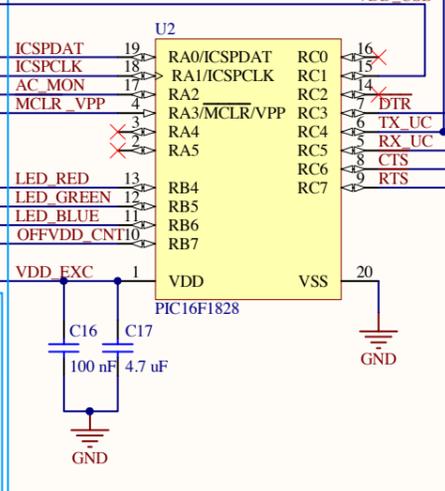
In-Circuit Serial Programming (ICSP)



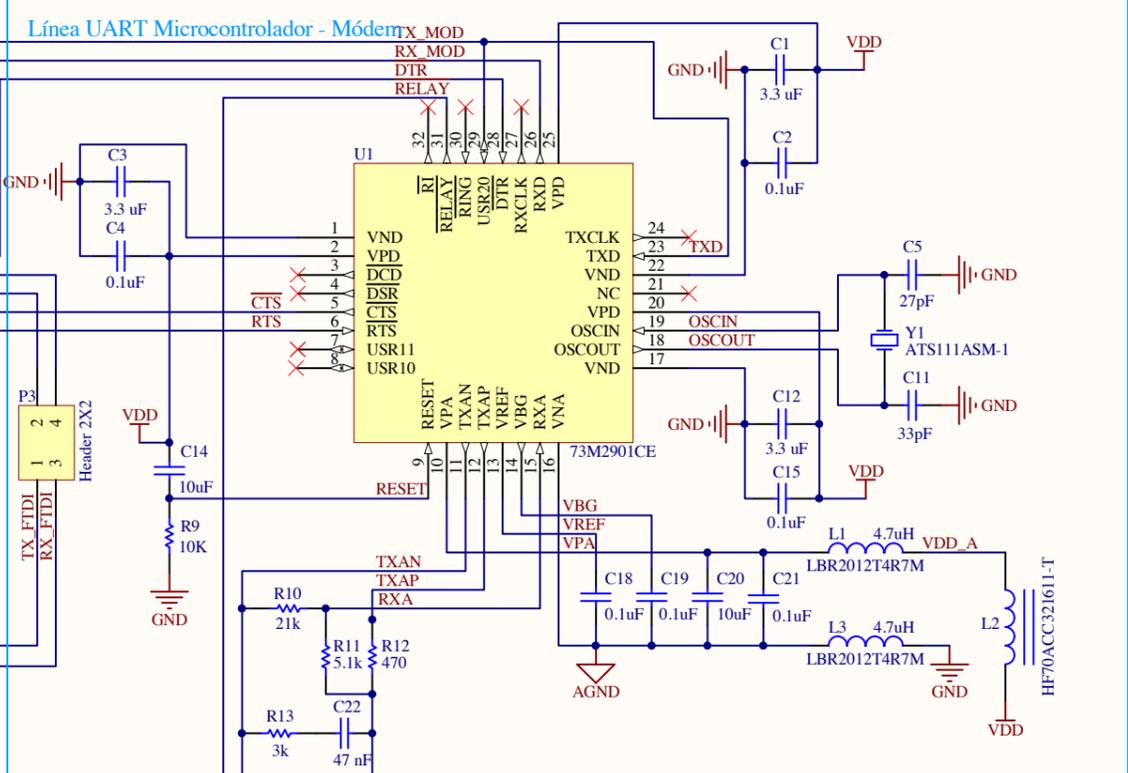
Interfaz Configuración USB - UART



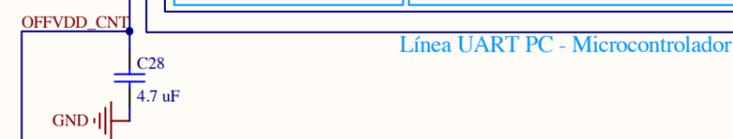
Microcontrolador



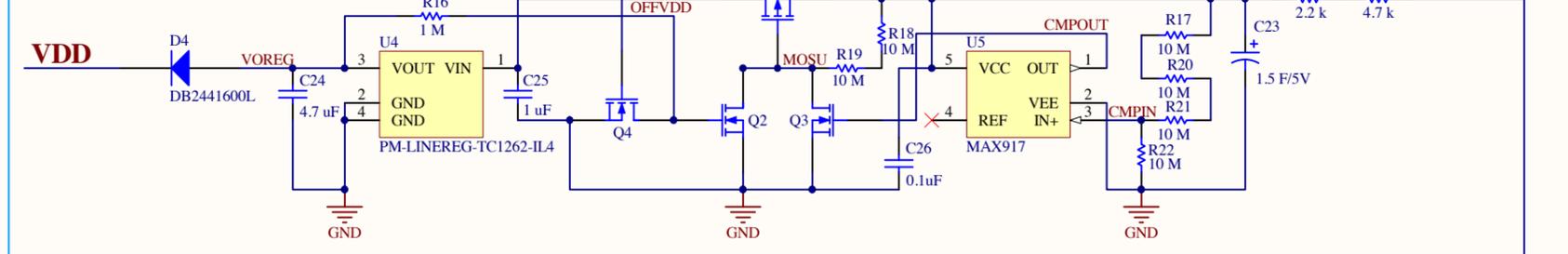
Módem FSK - DTMF



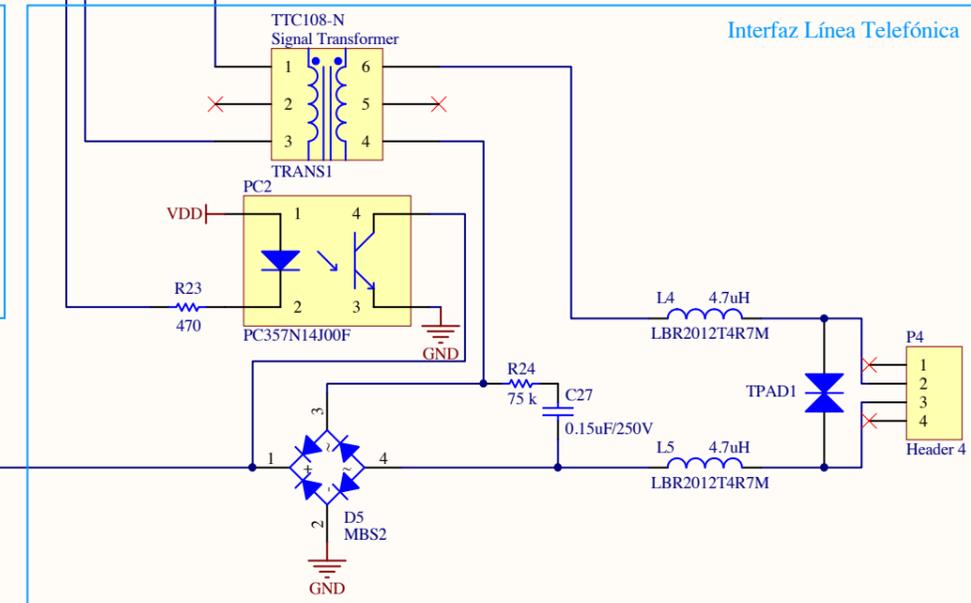
Línea UART PC - Microcontrolador



Fuente Alimentación Intermitente de Línea Telefónica



Interfaz Línea Telefónica



Title		
Notificador SMS de Corte de Suministro (NSCE)		
Size	Number	Revision
A3	1	V. 2.0.
Date:	22/06/2014	Sheet 1 of 1
File:	\\.\nsce_v2.SchDoc	Drawn By: Juan Antonio Enríquez



#### 4.1.4. In-Circuit Serial Programming

Para la **programación y depuración** del microcontrolador se dispone del circuito **ICSP (In-Circuit Serial Programming)**. Éste no es más que un conjunto de 5 líneas que conectan el circuito integrado a un dispositivo programador desde el cual cargar el código y poder depurarlo.

Dos de ellas se corresponden con las líneas de alimentación *VDD* (pin 1) y *GND* (pin 20). Dicha alimentación se proporciona desde el dispositivo programador, o en el propio circuito.

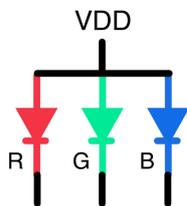
Una tercera línea *VPP* (pin 4), se usa para aplicar la tensión de programación, la cual activa en el microcontrolador la rutina de grabado de código.

El resto, *ICSPCLK* (pin 18) y *ICSPDAT* (pin 19) se tratan de las líneas de reloj y datos a través de las cuales se transfieren el código entre el programador y el microcontrolador de forma asíncrona. Junto con la línea de tensión de programación *VPP*, se llevan a cabo los mecanismos de grabado y extracción del código, y depuración.

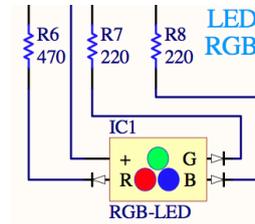
Además de las cinco líneas accesibles externamente a través de un conector, solo se requiere la resistencia *R3* entre *VDD* y *VPP*.

#### 4.1.5. LED RGB

Otro circuito menor del esquemático se trata del **LED RGB**. El componente aúna los 3 LEDs en un mismo soporte físico, que dispone de un pin alimentación que conecta con los ánodos de los 3 LEDs, y otro tres pines correspondientes a los cátodos de los mismos.



(a) Esquemático interno del LED RGB.



(b) Esquemático del LED RGB.

Para polarizar cada uno de los LEDs, encontramos las resistencias *R6*, *R7* y *R8*, conectadas en serie con su correspondiente LED y a una salida CMOS en el microcontrolador que permite completar el camino a masa de la corriente del LED en caso de encendido, y mantenerlo en valor alto en apagado.

#### 4.1.6. Interfaz de configuración

El uso de conexiones físicas bajo el estándar USB se impone como requisito obligado, con el fin de dotar de la usabilidad adecuada al dispositivo.

En cambio, la complejidad del protocolo USB y los requerimientos que añade al diseño se muestran en desventaja frente a la simplicidad y efectividad del protocolo serie clásico. A parte del uso ocasional que se prevé del modo de configuración, la transferencia de datos es reducida, por lo que no se precisan altas velocidades de transferencia como las que facilita el estándar USB.

Por todo ello, se hace uso de un convertor USB - UART que permite el uso transparente de la comunicación serie. El chip FTDI FT230X [34] cumple satisfactoriamente con dichas premisas, ofreciendo una solución sencilla y económica.

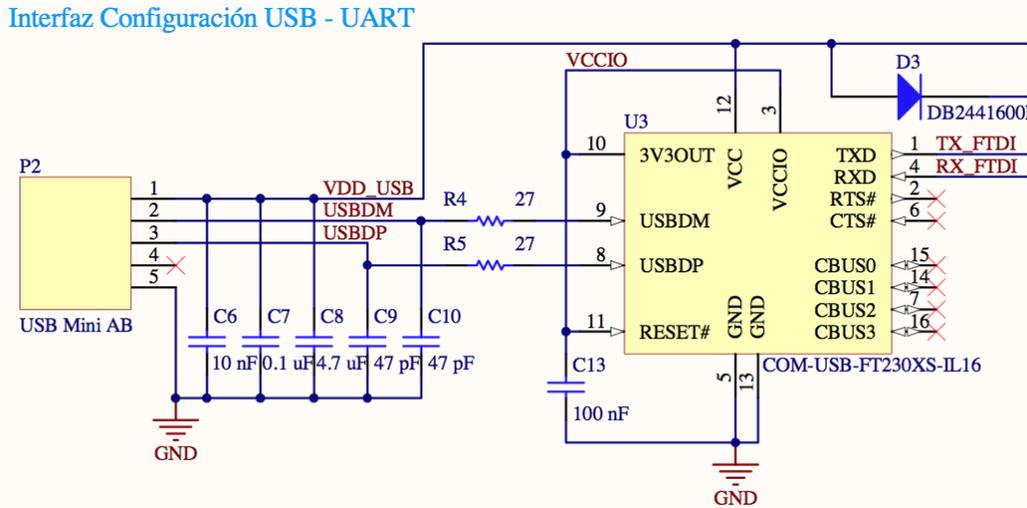


Figura 4.6: Esquemático del circuito USB - UART para configuración.

En cuanto al circuito y los componentes auxiliares que requiere el circuito integrado (Fig. 4.6), se reducen al conexionado con un conector USB hembra en el lado USB — dos líneas de datos y dos de alimentación —, y las líneas Rx y Tx de datos en el lado del microcontrolador.

Los múltiples condensadores C6 - C10 y C13, introducidos de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, no son más que capacidades de bypass para eliminar posibles efectos indeseados de ruido en las señales de datos, y obtener una señal de alimentación estable.

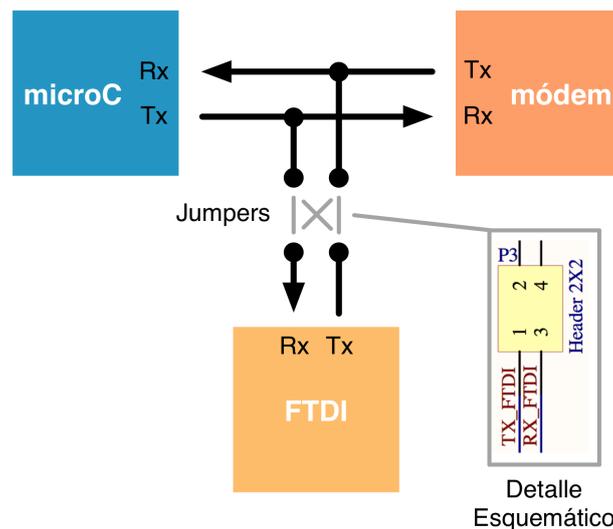


Figura 4.7: Conexión de líneas UART entre el microcontrolador, el chip FTDI y el módem.

Un detalle a mencionar, se trata del uso de jumpers para la conexión de las líneas UART (Fig. 4.7). Estos dos circuitos son compartidos por el convertor FTDI y la inter-

faz serie con el módem, permitiendo una comunicación microcontrolador - computador y microcontrolador - módem, en función del modo de operación del dispositivo. El uso de los jumpers, permite cruzar las líneas para una comunicación computador (FTDI) - módem, facilitando las labores de configuración y desarrollo del módem.

La alimentación del componente integrado, como se explicará detalladamente en la sección 4.1.9, se obtiene directamente de la línea de tensión  $VDD\_USB$  proveniente del computador mediante el cual se configura el dispositivo.

#### 4.1.7. Interfaz de monitorización de la red eléctrica

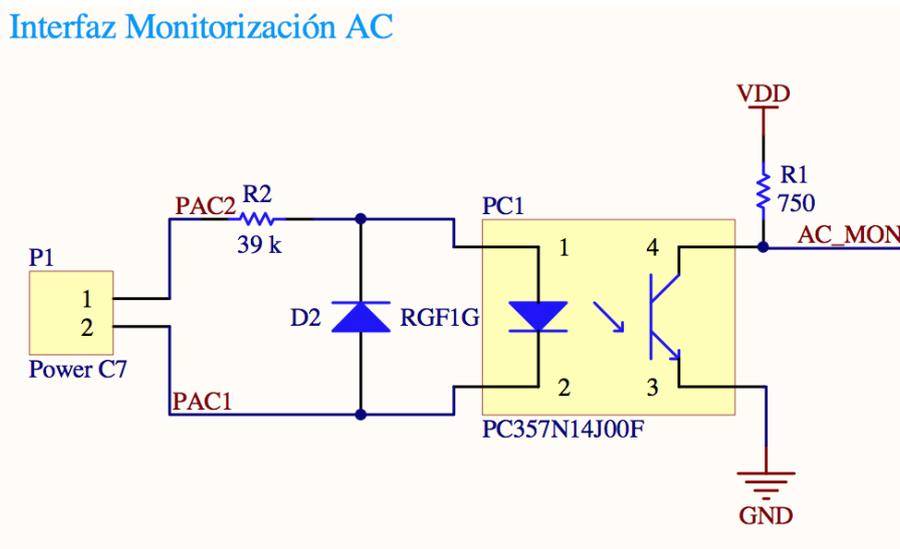
Finalmente, la energía necesaria para hacer funcionar el sistema no se obtendrá de la red eléctrica. La interacción con la red eléctrica se limita a una configuración electrónica que permita conocer el estado de la misma.

Con tal finalidad, se propone la solución más sencilla que ofrezca el aislamiento galvánico necesario mediante el uso de un optoacoplador.

Conectado a la red eléctrica tenemos un LED, el cual conduce solo en los ciclos positivos de la señal AC de 220 V. Mediante la resistencia  $R2$ , se polariza el LED para que circule una corriente media de 4 mA.

La potencia consumida media consumida por la resistencia (despreciando la caída de tensión en el LED) será de 880 mW, por lo que habrá que elegir un encapsulado adecuado capaz de disiparla sin deterioro del componente.

El diodo  $D2$  permite la conducción de corriente en los ciclos negativos, evitando la sobrecarga de tensión inversa en el LED y su consiguiente destrucción.



**Figura 4.8:** Circuito de monitorización de la red eléctrica.

El acoplamiento óptico es posible gracias a la existencia de un fotodetector, que en presencia de luz, activa un transistor bipolar permitiendo el paso de corriente entre colector y emisor. En el diseño, el emisor está conectado a masa  $GND$ , y el colector a la alimentación  $VDD$  a través de una resistencia de pull-up.

La salida del colector (Fig. 4.9), consiste en una onda cuadrada con valor *GND* para los ciclos negativos y *VDD* en los ciclos positivos, cuando la red eléctrica está operativa. Con la red en corte, la salida presenta la tensión *VDD* constante.

Dicha salida se conecta a una entrada digital del microcontrolador, desde la que se evalúa en cual de los dos estados se encuentra la red.

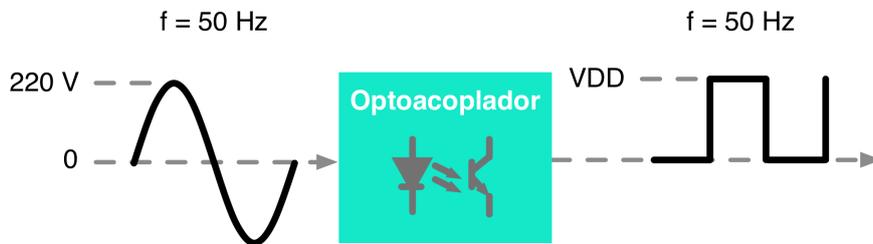


Figura 4.9: Señales de entrada y salida del optoacoplador.

#### 4.1.8. Interfaz con la red telefónica

La interacción con la red telefónica se realiza íntegramente desde el módem 73M-2901CE [30]. Desde el microcontrolador se controla el módem a través de la interfaz UART mediante comandos AT.

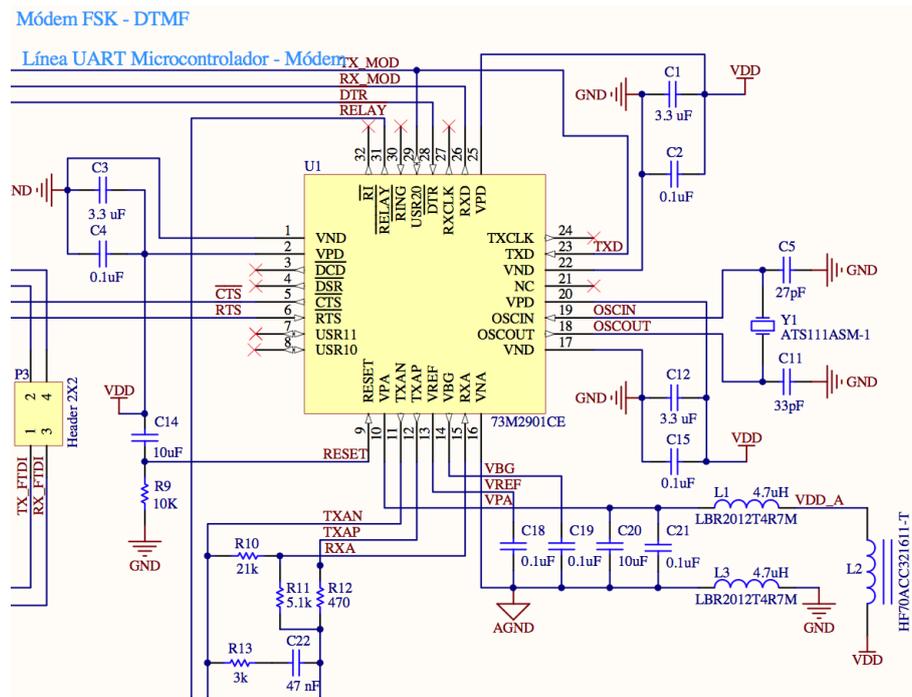
Una vez el módem ha establecido una conexión con otro extremo, todos los caracteres que llegan por la interfaz digital UART son modulados y enviados por la interfaz analógica con la red telefónica. Igualmente, las señales analógicas provenientes de la red telefónica se demodulan y se envían como caracteres digitalizados bit a bit hacia el microcontrolador.

Además, se utilizan también los circuitos control de flujo *RTS*, *CTS*, y *DTR* que gestionarán las transiciones entre envío y recepción de la interfaz analógica, que a diferencia de la digital es semi-dúplex.

El módem dispone de varios pines de alimentación y masa en la interfaz digital, que a sugerencia del fabricante precisan estar conectados a *VDD* y del uso de varios condensadores de bypass (*C1* - *C4*, *C12* y *C15*) que mantengan una alimentación estable y libre de ruido.

Así mismo, el funcionamiento del módem requiere un cristal externo *Y1* de 11.0592 MHz, acompañado de los condensadores *C5* y *C11* para el construir el circuito oscilador.

En el lado analógico también se dispone de diversos condensadores de desacoplo (*C18* a *C21*) que sirven para la alimentación analógica y los voltajes de referencia. Para desacoplar señales de alta frecuencia y ruido entre la parte analógica y la digital se coloca un núcleo de ferrita *L2* separando los dos tramos de alimentación, junto con los inductores *L1* y *L3*.



**Figura 4.10:** Módem, conexiones de las interfaces digitales y analógicas, y sus componentes auxiliares.

Para la línea de comunicación analógica el módem dispone de una salida diferencial y una entrada. Para acomodar la única línea proveniente de la red telefónica — de acuerdo a un enlace semi-dúplex — a la interfaz con una línea de recepción y otra de envío, se utiliza la red resistiva  $R10 - R13$  junto con la capacidad  $C22$ , conectadas a uno de los terminales del transformador de señal  $TRANS1$ .

Dicho transformador se encarga de desacoplar la tensión DC de 48 V superpuesta a las señales alternas en la red telefónica. El terminal del transformador en la parte de la red telefónica se conecta en serie con el optoacoplador  $PC2$ , a través de un puente de diodos  $D5$ .

La presencia del puente de diodos tiene como finalidad garantizar la polaridad de la tensión DC correcta, dado que el conexionado de par telefónico no asegura una polaridad determinada.

Mientras que el optoacoplador actúa como interruptor de la línea telefónica, controlando los estados de colgado y descolgado desde el módem, mediante la salida digital  $RELAY$ .

Para la aplicación de interés, las señales alternas tendrán lugar en estado descolgado, pero en caso de que alguna interacción tenga lugar en estado colgado — caso de las señales de timbre de llamada o algunas modalidades de *Caller ID* — podrán hacerlo a través del bypass introducido por la resistencia  $R24$  en serie con la capacidad  $C27$ .

Como mecanismos de protección, en el punto de conexión con la línea de teléfono se coloca el diodo de supresión de voltaje transitorio  $TPAD1$  junto con los inductores  $L4$  y  $L5$ , que evitan la inyección de corrientes elevadas en el circuito que puedan dañar la electrónica.

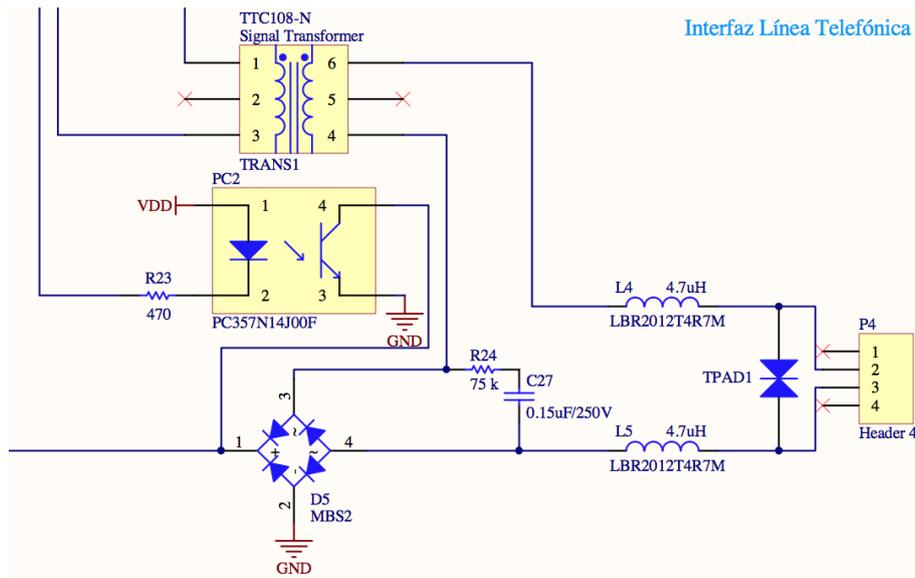


Figura 4.11: Interfaz con la red telefónica.

#### 4.1.9. Sistema de alimentación

El sistema de alimentación es la parte más exigente del diseño. Ya en el capítulo 3 de análisis, se presentaron distintos mecanismos mediante los cuales proporcionar la energía necesaria al circuito. Si bien ninguna alternativa se planteaba como clara candidata frente al resto, se opta por una sistema multialimentación, el cual se describe con detalle a continuación.

En cualquier caso, el diseño de esta parte es fruto de un proceso de desarrollo iterativo y paralelo de los circuitos hardware junto con el firmware del sistema, con el que se determinó y ajustado el consumo para poder implementar la apuesta de diseño más interesante. Algunas de estas discusiones y cálculos, se explican en el anexo ?? *Cálculos de potencia*.

#### Esquema de alimentación

El sistema de alimentación distingue los tres modos de operación del dispositivo: configuración, desarrollo, y modo normal. El modo de desarrollo podría no formar parte de un producto final, pero durante el desarrollo y prototipado es esencial.

Cada modo toma la alimentación de un sistema distinto:

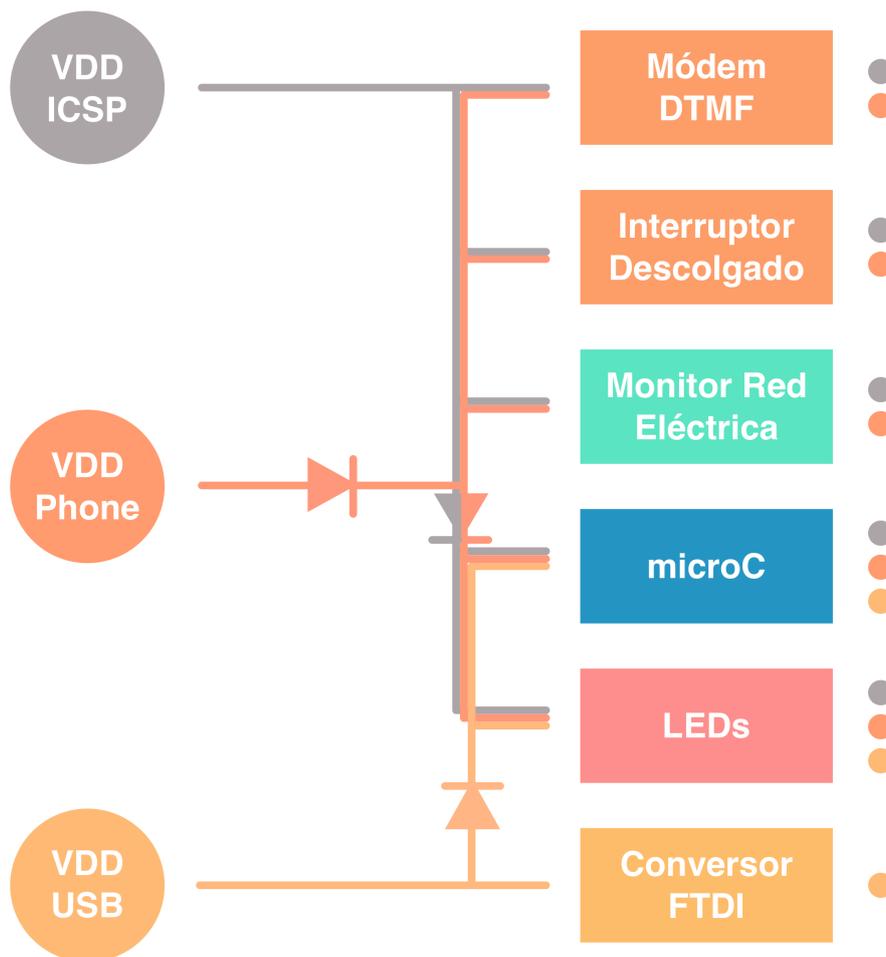
- **Configuración.** Aprovecha la alimentación de la línea de 5 V del estándar USB al conectarse al computador.
- **Desarrollo.** Toma la energía del dispositivo de programación y depuración (que generalmente estará alimentado desde el propio computador por USB).
- **Normal.** Utiliza la alimentación disponible de la red telefónica.

Para cada modo de operación se diferencian los circuitos implicados, de manera que la alimentación para de determinado modo no suministre potencia a aquellos componentes de los que no se hace uso.

De esta forma, el uso de la red eléctrica se limita a su monitorización, y la potencia consumida es la mínima necesaria para hacer funcionar el LED del optoacoplador *PC1*.

En el esquema de la figura 4.12 se pueden observar los circuitos a los que suministra energía eléctrica cada modo.

Durante la programación del dispositivo, en la **fase de desarrollo**, se desea que el circuito esté alimentado en su totalidad, de ahí que todos los circuitos hagan uso de esta fuente de alimentación a excepción del circuito del conversor FTDI, puesto que el uso de éste, requiere siempre la conexión con el bus USB, y por tanto, se fuerza a que la alimentación se tome de dicho bus.



**Figura 4.12:** Modos de alimentación del sistema y los componentes implicados.

El **modo de operación normal** requiere el funcionamiento de todos los subsistemas, menos el de configuración. Es por ello que nuevamente, se ha bloqueado este modo de alimentación para dicho circuito.

Por último, dado que el bus USB solo se usará para la **configuración** del dispositivo, solo está disponible su línea de alimentación para el circuito del conversor USB - UART, el microcontrolador, y el LED RGB. Es decir, aquellos componentes que intervienen en la rutina de configuración. Así mismo, también se permite hacer uso de ella durante las pruebas de desarrollo del dispositivo relacionadas con esta funcionalidad.

### Sistema de alimentación desde la línea telefónica

El diseño de este sistema presenta algunas exigencias importantes. En la sección 3.4 de análisis ya se sugirió las posibilidades de alimentación de la red telefónica, así como sus limitaciones y condicionantes.

El requisito de disponer de un sistema independiente en términos de autonomía ha forzado a la adopción de un diseño singular — y al mismo tiempo práctico y eficaz — de fuente de alimentación a partir de la red telefónica. Esa singularidad se traduce en un pequeño aumento de complejidad frente a otros esquemas habituales, pero realmente justificado.

Entre las condiciones de diseño, por encima del objetivo final de nuestra aplicación, está evitar la interferencia en funcionamiento adecuado de la red telefónica. Para ello el estándar ETSI ES 203 021 [28], marca el máximo consumo que se permite de la línea telefónica en cada uno de sus dos estados:

- **Colgado.** Para una tensión de 48 V DC, la corriente máxima que mantiene la línea en colgado es de 48  $\mu\text{A}$ , siempre y cuando solo exista un equipo terminal conectado a la línea. Desde luego, una corriente muy por debajo de las necesidades del dispositivo.
- **Descolgado.** Teniendo en cuenta que la tensión DC presentada por la línea al descolgar suele decaer bastante por debajo de los 48 V en colgado, la corriente que puede suministrar será inferior a los 50 mA en el mejor de los casos (véase la figura 3.5). Por tanto, en principio en descolgado tampoco garantiza satisfacer las necesidades de alimentación del dispositivo.

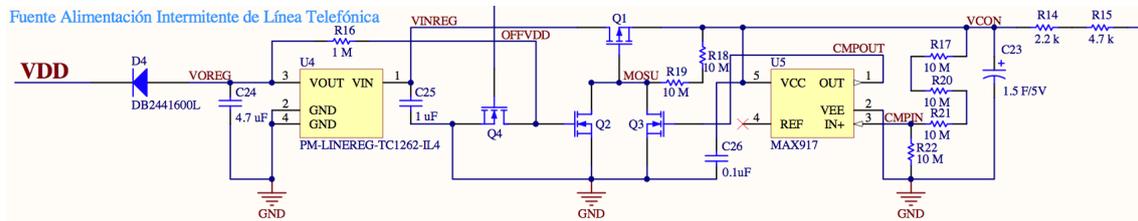
Sin embargo, por fortuna en este caso, los proveedores de servicios que implementan las infraestructuras de red no siguen estrictamente los estándares. Lo que nos ha permitido comprobar que la corriente máxima de colgado es significativamente superior a la indicada por el estándar. Para diversas pruebas realizadas en distintos hogares con varios equipos terminales conectados, el **consumo de corrientes hasta 7 mA** preserva el estado de colgado y no provoca ninguna consecuencia negativa en el buen funcionamiento de la red telefónica.

Si bien la corriente sigue siendo inferior a la necesaria, nos plantea la posibilidad de diseñar un **sistema de alimentación intermitente mediante almacenamiento temporal de la energía eléctrica** en el cual los **tiempos de funcionamiento** de los ciclos de alimentación del dispositivo e inactividad debido a la acumulación de energía suficiente **sean razonables para la aplicación final**.

Atendiendo a todas estas consideraciones, se propone el esquema de la figura 4.13. En un ciclo normal de operación, el condensador  $C23$  hace de acumulador, cargándose con la corriente proveniente de la línea telefónica a través de las resistencias  $R14$  y  $R15$ , que limitan la corriente máxima de colgado a la calculada experimentalmente.

La rama de resistencias  $R17$  y  $R20 - R22$ , por la que circula una cantidad ínfima dada la alta resistencia ( $40 \Omega$ ), constituye un divisor de tensión que establece la entrada del comparador  $MAX917$ .

El integrado *MAX917* [31] es un comparador con un consumo ínfimo, cuya salida se activa para voltajes de entrada mayores de 1.25 V, y permanece inactiva para valores inferiores a dicho voltaje. Por lo tanto, a partir del divisor de tensión mencionado, cuando la tensión entre los terminales del condensador alcanza los 5 V se activa la salida del comparador.



**Figura 4.13:** Esquemático del sistema de alimentación intermitente a partir de la red telefónica.

Con la salida del comparador activa, el transistor *Q3* entra en conducción haciendo que la puerta del transistor *Q1* haga lo mismo. De esta forma, se permite el paso de la corriente almacenada en el condensador *C23* hacia la entrada del regulador de tensión *TC1262* [20].

Se trata de un regulador de tensión fija de salida 3.3 V, que puede suministrar una corriente máxima de 500 mA, la cual es más que suficiente para la aplicación requerida. Además, no requiere más electrónica auxiliar que los condensadores de bypass de entrada *C24* y de salida *C25*.

De esta forma, conseguimos almacenar la corriente de la red telefónica y generar una fuente de 3.3 V que permite una corriente máxima.

Una vez presente la señal de alimentación a la salida, casi de forma instantánea la tensión en el condensador *C23* cae por debajo de los 5V, lo que permite que se desactive la salida del comparador *MAX917*, y por tanto el MOSFET *Q3* deja de conducir. Para poder mantener la puerta del transistor *Q1* a masa se hace uso del transistor *Q2*, cuya puerta está directamente conectada a la salida del regulador *TC1262*. De esta forma, la salida se mantendrá activa mientras el condensador suministre la suficiente potencia al regulador para mantener los 3.3 V a la salida.

Pero para evitar que la alimentación se encuentre activa hasta que el condensador se descargue suficientemente, desde el microcontrolador se controla el transistor *Q4*, cuya puerta se controla mediante la salida pertinente del microcontrolador. Su activación hace que el transistor *Q2* entre en corte, y en consecuencia también *Q1*, desactivando la alimentación.

De esta forma, una vez el microcontrolador ha completado un ciclo de ejecución se apaga el sistema completo, incluido el propio microcontrolador. Cuando el condensador *C23* vuelva a alcanzar los 5 V, la alimentación se reanuda dando lugar a un nuevo ciclo de ejecución del sistema.

## 4.2. Firmware

En el capítulo 2 de especificaciones se indican claramente los modos de operación que ha de contemplar el sistema. Sin embargo, el flujo de operaciones, y como el sistema transita de un modo a otro son opciones libres que abordamos el siguiente diseño.

De acuerdo al flujo de operación habitual de un microcontrolador, se plantea una **solución secuencial de las principales funciones** del firmware: **configuración, monitorización de la red eléctrica, y notificación.**

El uso de interrupciones, que permiten la ejecución de una determinada rutina ante cierto evento, queda relegado al uso de periféricos, temporizadores y medidas de algunos parámetros — como se expone en el capítulo 5 de implementación —, y no constituirán los mecanismos para el intercambio de modos.

El diagrama de flujo de la figura 4.14 representa el bucle principal del sistema. La **detección del modo de operación** se realiza de manera **automática** por parte del dispositivo. La línea de tensión de 5 V está conectada a una de la entradas digitales del microcontrolador (véase la línea *VDD\_USB* en el esquemático principal de la página 53), de forma que si el dispositivo se conecta a través de la interfaz USB de configuración, la lectura de esa entrada determina el modo de operación.

Detectada la presencia de la tensión de bus USB, el microcontrolador iniciará la rutina de configuración, que describe en la sección 4.2.1. Una vez realizada realizada la configuración finaliza la rutina principal.

En cambio, si **no se detecta la conexión USB**, el dispositivo accederá en **modo normal**, o de monitorización y notificación. En este caso, se **comprobará el estado de la red eléctrica** a través de la entrada digital conectada al circuito de monitorización.

En el sistema **una variable almacenará el estado de la red eléctrica**, de forma que cuando se produce una comprobación se **comparan ambos estados**. Si el estado coincide, entonces la ejecución concluye.

En caso contrario, **el cambio ha de notificarse al usuario, iniciándose el protocolo de envío de mensajes cortos**. Su funcionamiento — la parte más exigente y compleja del firmware — se explica con detalle en la siguiente sección.

Si existe un fallo en el envío, el sistema lo reintentará una vez más. Si no hay éxito, se mantiene el estado de la red eléctrica que había almacenado en el sistema previamente a la detección del cambio. De modo que cuando la rutina se ejecute otra vez, podrá detectar el cambio, y reenviar el SMS a la espera de que esta vez se realice de forma correcta.

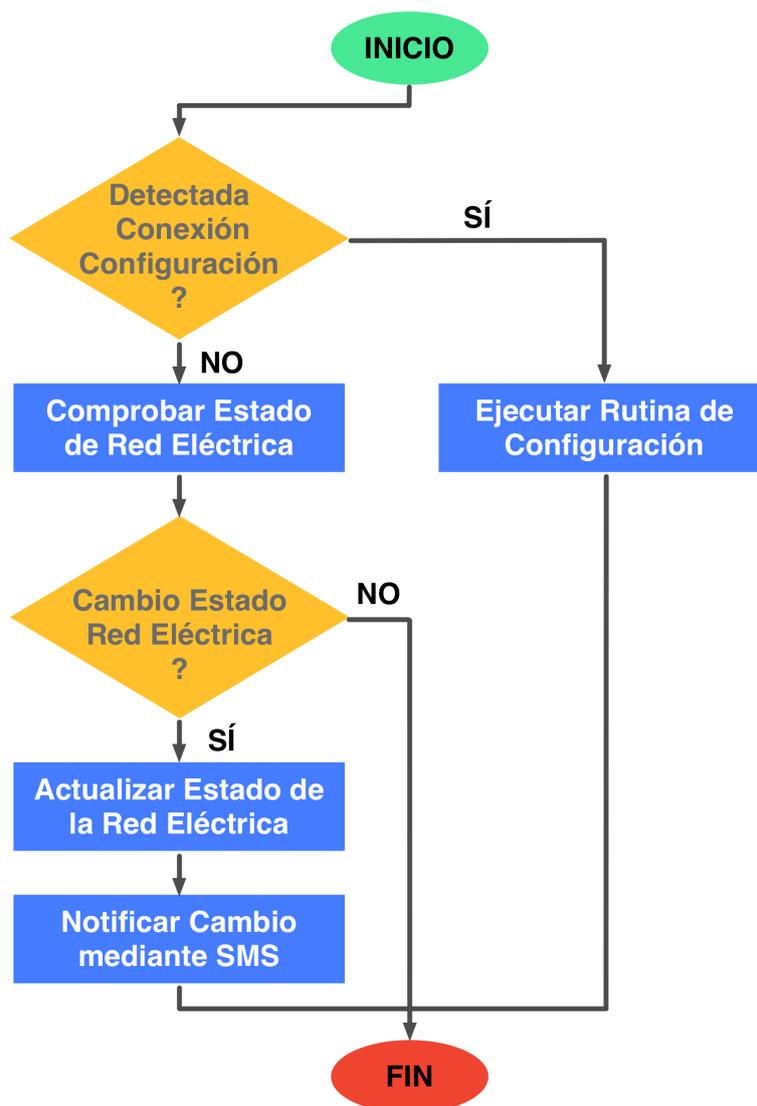


Figura 4.14: Diagrama de flujo del bucle principal.

#### Diagrama de flujo de la rutina de envío de SMS

Concebida la descripción de las estructuras y el dialogo entre los distintos extremos de la comunicación, se propone un **diagrama de flujo basado en el caso más simple del protocolo**. La consideración de los múltiples fallos que pueden ocurrir en las distintas etapas del protocolo, aumenta notablemente la complejidad del firmware, y por ende, la necesidad de un sistema de memoria de mayor capacidad.

Frente a esto, en caso de que **la secuencia esperada se encuentre con algún fallo o variación, se anulará el envío completo, y se intentará un nuevo reenvío**.

El flujo ejecución se puede observar en el diagrama de la figura 4.15. La ejecución es bastante secuencial, y **comienza obteniendo los principales parámetros del mensaje almacenados en la memoria no volátil del microcontrolador: destinatario, cuerpo del mensaje y número del centro de mensajes**.

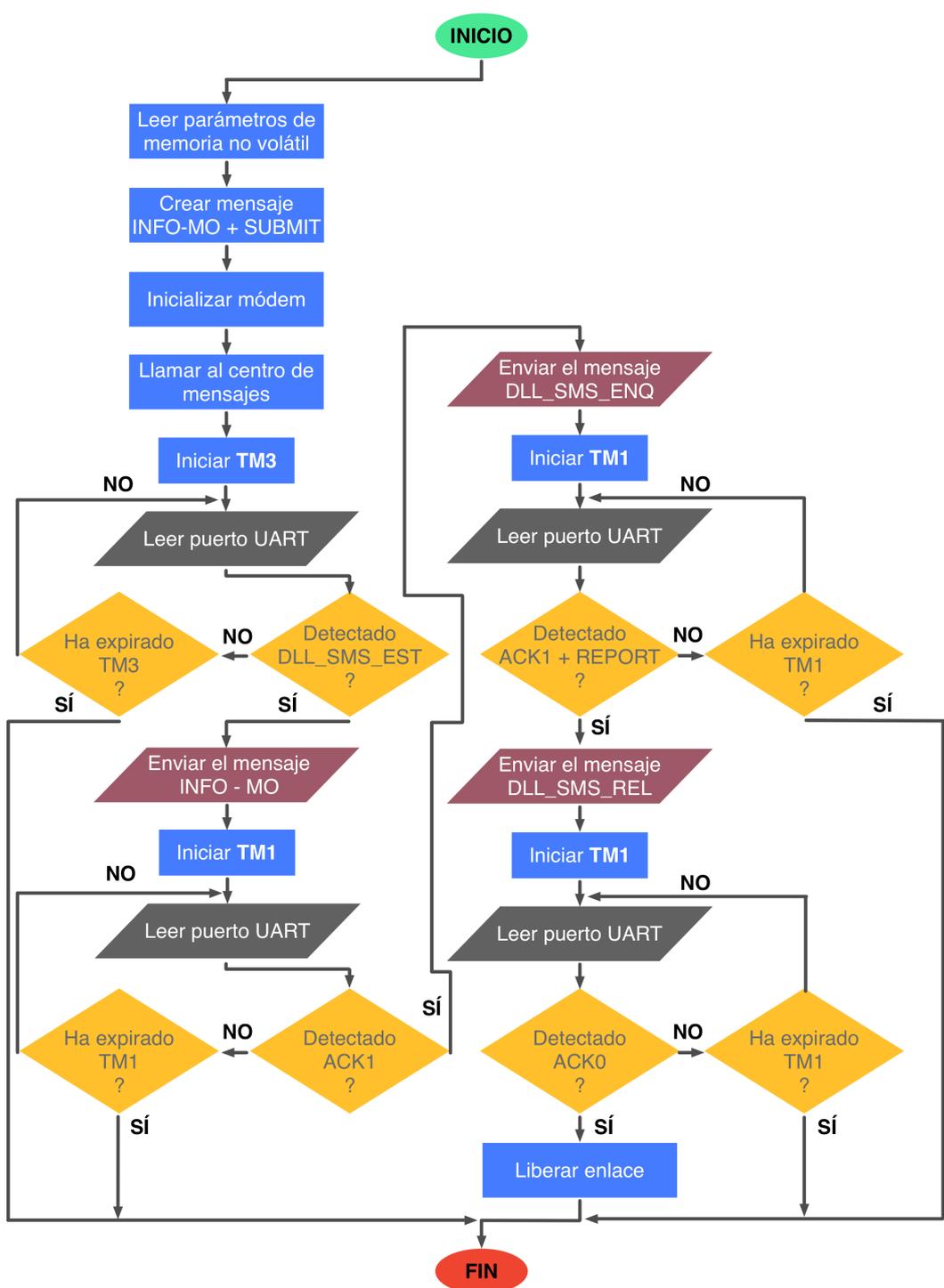


Figura 4.15: Diagrama de flujo del protocolo de envío de SMS.

A partir de los parámetros hay que **construir la trama de envío principal DLL\_ - SMS\_INFO-MO**. Esto conlleva calcular los diversos **campos del mensaje: parámetros del mensaje SMS\_SUBMIT, la longitud de dichos campos, y el campo de comprobación de error checksum**.

En cuanto al **resto de las tramas** a intercambiar, éstas **no varían en cada envío**, por tanto, no es necesario generarlas durante la ejecución, y simplemente se pueden almacenar en la memoria del programa.

Antes de comenzar el protocolo de envío, es necesario **iniciar el módem** con la configuración adecuada. Entre otros parámetros menores de configuración, los más importantes atañen a la **implementación del estándar ITU V.23** y la **configuración adecuada de la interfaz UART entre el microcontrolador y el módem**.

Tras dicha configuración, el protocolo **empieza mediante el envío al módem del comando para realizar la llamada al centro de mensajes**.

Posteriormente, el **dialogo entre el dispositivo y la central de mensajes** tiene lugar, controlado por los mecanismos de temporización que suspenden la comunicación en caso de alguna irregularidad o fallo.

Como ya se explicó en la sección 3.5 del capítulo 3 de análisis, entre dichos mensajes, predomina el que contiene realmente el SMS que se pretende enviar.

El resto se corresponden con mensajes asociados al control de errores (ACKs de confirmación) y la gestión del enlace de comunicación (mantenimiento de la conexión o desconexión del enlace).

### 4.2.1. Rutina de configuración

La configuración del dispositivo precisa de la **ejecución de dos rutinas en paralelo**, una funcionando en un **computador** y la otra en el **microcontrolador del aparato**.

Ambas rutinas interaccionan **enviándose mensajes mediante una comunicación serie**. Por supuesto, para que el dispositivo entre en el modo de configuración, éste ha de estar **convenientemente conectado al computador mediante el enlace USB** correspondiente.

De esta forma, desde el ordenador se puede detectar la presencia del dispositivo y llevarse a cabo la comunicación.

En el microprocesador, el programa **lee constantemente del puerto serie**, siguiendo una estrategia de espera activa **hasta la llegada del mensaje completo** desde el otro extremo. Posteriormente, cuando el mensaje se ha recibido — en cuanto a longitud del mismo se refiere —, **se verifica la validez del mensaje**.

Si el mensaje es válido, se **envía un mensaje de confirmación al extremo de la computadora**. En caso contrario, se desecha el mensaje almacenado, y el programa vuelve a leer el puerto serie hasta la espera de un mensaje correcto.

Con el mensaje verificado, **se almacena su contenido en la memoria no volátil del microcontrolador** antes de concluir la rutina.

Por su parte, en el ordenador, la rutina de configuración cuenta con la **participación del usuario**, que **a través de una interfaz con un formulario, introduce los datos de configuración** e inicia la configuración.

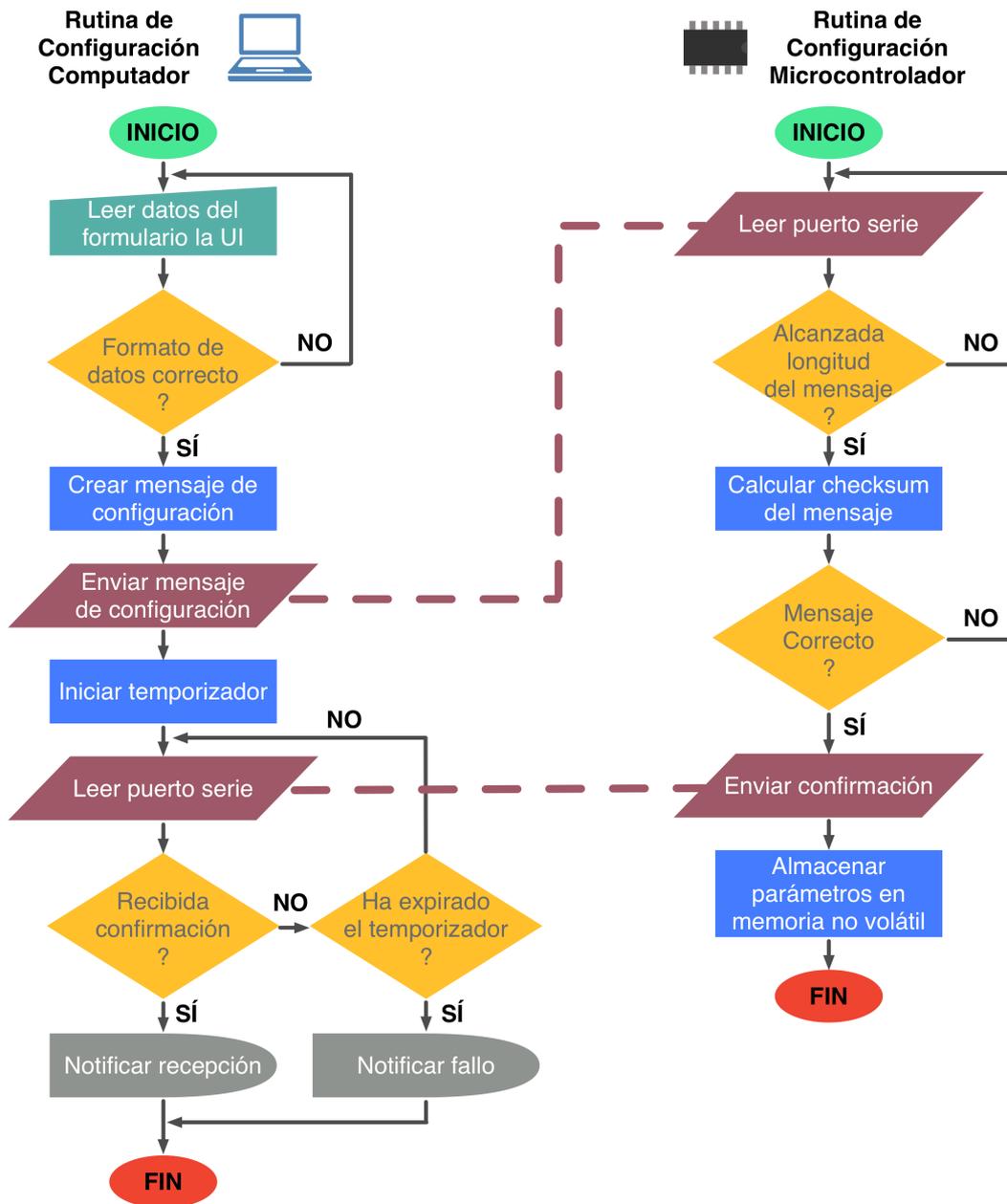


Figura 4.16: Diagrama de flujo del algoritmo de configuración en la computadora y el microcontrolador.

Una vez comprobado el formato de los datos introducidos, **se crea el mensaje de configuración** y **se envía por el puerto serie**. Inmediatamente antes del envío, **se inicia un temporizador**, que impone un límite al tiempo de espera de la confirmación enviada desde el dispositivo.

Finalmente, **se notifica bien el éxito del proceso de configuración**, o bien el error que ha impedido la configuración.

### Estructura del mensaje de configuración

Para enviar el mensaje SMS hacen falta tres parámetros:

- **Teléfono de notificación.** El número de teléfono del destinatario del mensaje de notificación de corte de suministro, entre 9 y 15 dígitos. Se corresponde con el campo *Identidad de la línea de destino* del mensaje de transferencia correspondiente al protocolo de envío de mensaje (véase sección 3.5.1).
- **Teléfono del centro de mensajes.** El número del servidor al que se envían los mensajes de texto para luego ser encaminados hacia el destinatario a través de la red telefónica. Al igual que el teléfono de notificación, consta de entre 9 y 15 dígitos.
- **Mensaje de notificación.** Cuerpo del mensaje, entre 1 y 10 caracteres.

Con estos parámetros se construye un **paquete normalizado para ambos extremos**, con la estructura de la figura 4.17. Sencillamente, antes de cada parámetro de indica su longitud. Y finalmente, se añade un campo de comprobación de suma, cuyo cálculo se realiza igual que el campo *checksum* de la trama de enlace de datos del protocolo de envío de mensajes (véase sección 3.5.1).

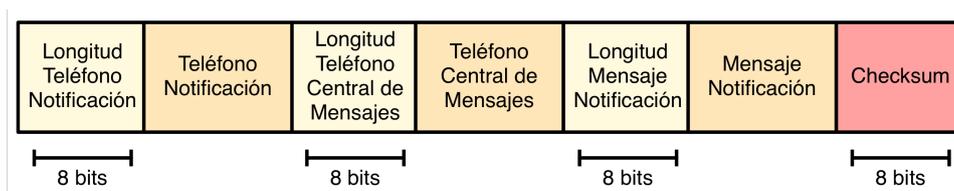


Figura 4.17: Estructura del mensaje de configuración.

### Interfaz de usuario

La interfaz de usuario se integra en una **aplicación o archivo ejecutable**. Ésta contiene **un formulario con tres campos** para introducir los parámetros descritos en el apartado previo: teléfono de notificación, teléfono del centro de mensajes, y mensaje de notificación.

Para **iniciar la configuración** se dispone de **un botón**. La interfaz también cuenta con un **área de información**, en la que aparecen diversos mensajes que facilitan el uso de la aplicación por parte de usuario e informen del progreso de la configuración.

En cuanto al aspecto gráfico de la interfaz, se toma como referencia el mockup (Fig. 2.3) propuesto en el capítulo 2 de requisitos.



# Capítulo 5

## Implementación

En el presente capítulo se describen las soluciones llevadas a cabo tras haber definido el diseño funcional del dispositivo físico y el software que lo controla.

Por una parte el hardware, que comprende tanto el diseño como la fabricación de la placa de circuito impreso y de la caja que albergará el dispositivo electrónico.

Y por otro lado, la transcripción de los algoritmos — presentados desde una perspectiva mayormente funcional— al código fuente de un determinado lenguaje de programación.

Así mismo, se enumeran las herramientas usadas para el desarrollo de las distintas tareas.

Para abordar estas cuestiones el capítulo se divide en dos secciones:

- Hardware
- Firmware

### 5.1. Hardware

El desarrollo del hardware supone armonizar el esquemático del sistema a nivel eléctrico y mecánico. Para ello, se parte de los requisitos como características básicas, y sobre ellos se plantea una distribución de los componentes y un conexionado que garantice el correcto funcionamiento, la compatibilidad electromagnética de las distintas partes, y presente un diseño sencillo (en la medida de lo posible) y óptimo en términos de espacio.

Junto con el dispositivo estrictamente electrónico, una parte esencial de la construcción del hardware es la construcción de un caja o contenedor, que además de proteger el dispositivo, ofrezca una presentación propia de un producto de electrónica de consumo.

En los siguientes apartados se abordan detenidamente los aspectos que atañen a estas cuestiones.

### 5.1.1. Herramientas de desarrollo

Para el desarrollo de la parte hardware del prototipo se han requerido multitud de herramientas, desde potentes plataformas software y numerosos instrumentos electrónicos de medida, hasta habituales herramientas básicas de taller.

#### Altium Designer

Es una de los programas más populares para el **diseño de PCBs**. Partiendo del esquemático del circuito se genera el **layout**, que constituye, junto con los componentes, el circuito electrónico del dispositivo.

Para ello ofrece multitud de funcionalidades que facilitan el trabajo y permiten alcanzar magníficos resultados. Demasiadas para ser expuestas en estas líneas, aunque podemos resaltar la comodidad para gestionar distintos proyectos y librerías, la creación de componentes en todos sus niveles, y asistencia continua durante el diseño del layout que posibilitan un diseño de calidad, óptimo y minimizan los posibles errores.



**Figura 5.1:** Logo Altium Designer.

#### Solidworks

Este potente **software de diseño mecánico** ha sido utilizado para el **diseño de la caja del dispositivo**.

Su interfaz gráfica y filosofía de diseño hacen que sea una herramienta ideal para pequeños proyectos como la construcción de piezas sencillas — como es el caso de este proyecto — por usuarios sin grandes conocimientos de diseño mecánico.

Pero también, permite la creación de complejos sistemas mecánicos, con partes móviles y ensamblajes complicados, el uso de diversidad de materiales, la optimización mediante cálculos de sistemas de fuerzas, simulación de funcionamiento... y una larga lista de funcionalidades que van mucho más allá de las necesidades de este proyecto.



**Figura 5.2:** Logo Solidworks.

#### Instrumentos de medida y desarrollo

Como en el desarrollo de cualquier dispositivo electrónico, se ha precisado del **instrumental habitual** para la **alimentación de los circuitos**, y la **medición de las distintas señales eléctricas**.

- **Polímetro.** Medida de tensiones DC y AC, resistencia, capacidad y continuidad.
- **Osciloscopio.** Medida de las señales analógicas en la línea telefónica, y de las señales digitales de las distintas interfaces con el resto de subsistemas.

- **Fuentes de 3.3 V y 5 V.** Alimentación de los distintos circuitos desarrollados durante el proyecto.



(a) Osciloscopio



(b) Polímetro



(c) Fuente de alimentación DC.

**Figura 5.3:** Instrumentos de medida y desarrollo.

### Herramientas de fabricación

La fabricación del prototipo se ha llevado a cabo con **tecnologías de bajo coste**. Además, de las **herramientas de taller comunes** como taladros, llaves, destornilladores, llaves, etc., se han necesitado las siguientes máquinas específicas:

- **Estación de soldado.** Soldado de componentes a la placa de circuito impreso (PCB). Dispone de soldador, pistola de aire y desoldador, y temperatura configurable.
- **Insoladora UV.** Usada para sensibilizar la placas fotosensible con las que se construyen la PCB.
- **Impresora 3D Prusa i3.** Fabricación de la caja del dispositivo en plástico laminado mediante deposición de ABS extruido.



(a) Estación de soldado JBC.



(b) Insoladora



(c) Impresora 3D Prusa i3.

**Figura 5.4:** Herramientas de fabricación.

### 5.1.2. Diseño y fabricación de la PCB

Realizado el conexionado lógico entre los distintos terminales — definido en el esquemático —, se procede a plantear la disposición física de los elementos, incluidas las pistas que interconectan dichos terminales. Para realizar el layout, no solo se necesita conocer la información de los elementos a nivel funcional y eléctrico, sino

también las especificaciones mecánicas del encapsulado y del sustrato que soporta los componentes.

La tecnología de fabricación y montaje de placa debe ser igualmente tenida en cuenta, ya que impondrá reglas concretas de diseño. En el caso de este prototipo, la PCB se fabricará mediante **ataque químico**, y **soldadura blanda manual**. Un procedimiento casero, pero con el que se pueden lograr resultados de gran calidad.

Las principales consideraciones a tener en cuenta son las siguientes:

- **Anchura de las pistas y distancia entre las mismas.** No existe un límite concreto. Existen numerosos parámetros a tener en cuenta: la experiencia con la máquina de insolación, los materiales y mecanismos de impresión de los fotolitos, las proporciones y temperaturas de los agentes químicos de revelado y grabado, y un control adecuado de los tiempos de exposición, revelado y ataque.

A partir de diversas pruebas, se han obtenido buenos resultados con **resolución de 8 - 10 mils**, pero es recomendable restringir estas resoluciones a aquellas partes del layout en las que sea verdaderamente necesario, trabajando habitualmente con **anchuras y espaciados de 15 - 20 mils**.

- **Espaciado de componentes.** Debido a que la soldadura se realiza de forma manual, con un **soldador de estaño**, es necesario tener acceso a patillas y pads de contacto, junto con sus superficies de soldado. Cada montaje sugiere un espaciado concreto, pero distancias de **unos pocos milímetros** suelen ser válidas.
- **Dimensiones de las huellas.** Con el componente colocado sobre la huella, es deseable que se pueda tener acceso a dicha huella, facilitando así las labores de soldado. Para estas dimensiones suele ser suficiente con **unas décimas de milímetro**. Un dimensionado de huellas pensado para soldado con pasta en horno de *reflow* o similar, puede complicar notablemente la tarea de soldado.
- **Alineamiento de doble cara y dimensiones de vías y taladros.** Las placas de doble cara llevan asociado el **uso de vías y pads para componentes de agujero pasante**, y constituyen orificios que conectan el layout de ambas capas. Por tanto, cualquier elemento del diseño de una capa que constituya un orificio ha de estar perfectamente alineado con la otra capa.

Puesto que **el alineamiento se realiza de forma manual**, las dimensiones vías y orificios están limitadas por dos cuestiones: **la destreza visual — incluso con el posible uso de microscopio o aparatos de aumento ópticos — y de alineamiento manual**, y la **exactitud y diámetro de las herramientas de taladrado**.

Con las herramientas disponibles, se pueden conseguir **orificios de hasta 0.8 mm** con un alineamiento adecuado.

- **Metalización de vías y localización.** Otra de las restricciones de las vías — además de sus dimensiones mínimas — se trata de la carencia de herramientas adecuadas para la metalización. Mediante este proceso, estas vías son simplemente taladros, que no ofrecen conexión eléctrica alguna entre ambas capas.

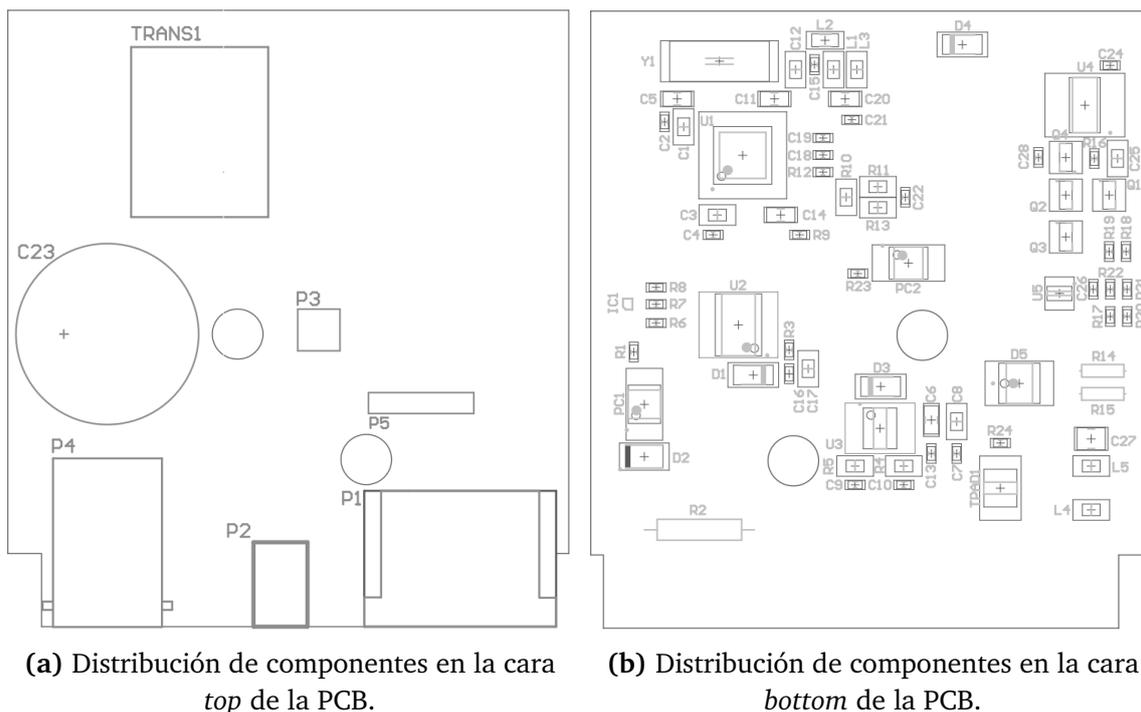
Esa conexión se logra introduciendo un pequeño cable, o elemento conductor, que se suelda por ambas caras, y posteriormente se elimina el excedente.



Además, de **dos áreas en las que se distinguen los orificios destinados a colocar elementos de sujeción con la caja.**

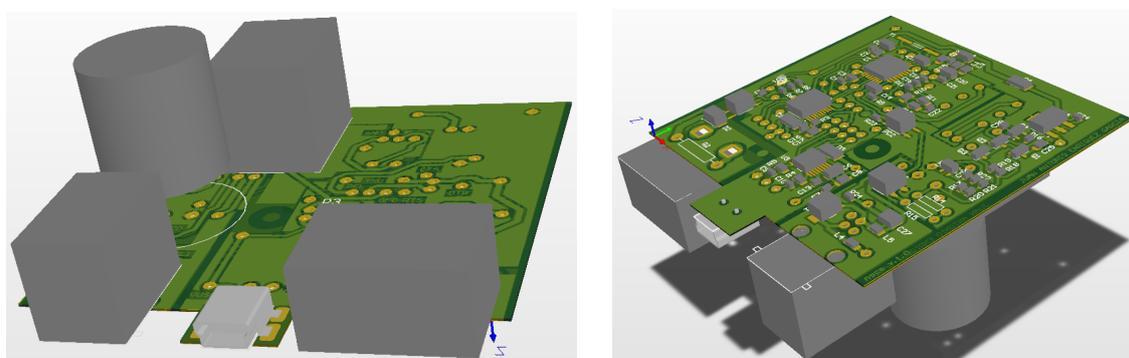
En las figuras 5.6a y 5.6b se muestra un plano de la **población de componentes**, en la que observar la distribución de los mismos en la placa de circuito impreso. En ellas aparece también la **capa de serigrafía**, que difícilmente se puede incorporar mediante esta tecnología de fabricación, al igual que la capa de **máscara de soldadura**.

En cualquier caso, como alternativa, algunas de las etiquetas necesarias para el diseño se han añadido directamente a las capas metálicas. No se han colocado todas, dado el innecesario consumo de espacio que supondría.



**Figura 5.6:** Distribución de componentes en la PCB.

También se hace uso del **modelo 3D** de la PCB (Figs. 5.7a y 5.8b), de gran utilidad en el diseño de la caja, pues permite comprobar durante el propio diseño que las dimensiones son adecuadas y el ensamblado es el correcto.



**Figura 5.7:** Modelo 3D de la PCB.

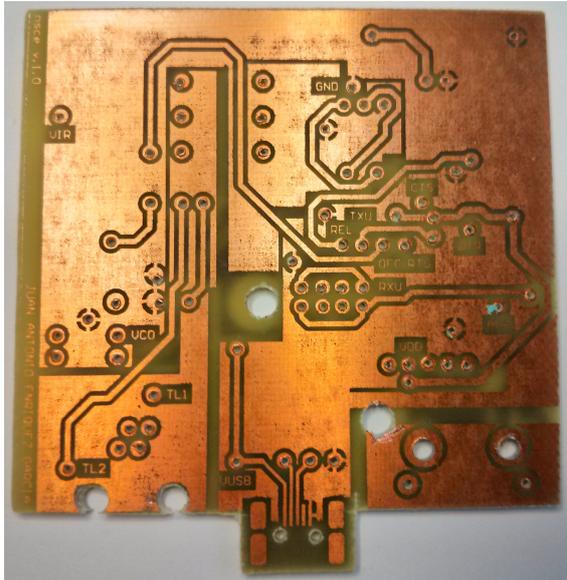
Una vez diseñada, el último paso es fabricarla. En la siguiente sección se explica brevemente el proceso llevado a cabo, y se muestran imágenes del resultado.

### **Fabricación de la PCB mediante revelado y ataque químico**

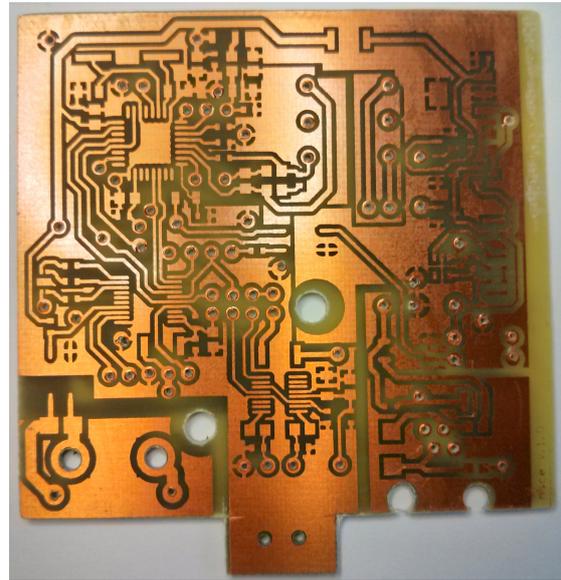
Estos son los pasos mediante los cuales se fabrica la PCB:

1. **Impresión a escala 1:1 de los fotolitos en papel vegetal.** Ambas caras del layout se imprimen en papel vegetal con impresora láser, con una resolución alta (600 dpi o más). Con precaución de imprimir una de las caras volteada (en espejo).
2. **Exposición a doble cara durante 150 - 200 segundos.** Tras alinear el layout de ambas caras y fijar los fotolitos con cinta adhesiva, se coloca una placa fotosensible positiva convenientemente posicionada entre ambos fotolitos, y se expone durante 150 - 200 segundos a luz ultravioleta en la insoladora.
3. **Revelado de la capa fotosensible mediante solución básica.** En un recipiente con una solución de agua y sosa caustica (Hidróxido de sodio) con una concentración del 1%, a una temperatura de 35 - 40 grados, se baña la placa ya insolada durante el tiempo necesario hasta que el layout se empieza a distinguir y se percibe como se va eliminando la película fotosensibilizada.
4. **Grabado mediante ataque con ácido.** Tras haber eliminado los residuos de película revelada bañando la placa en una cubeta con agua, se sumerge en una mezcla a partes iguales de *agua fuerte* — una solución de ácido clorhídrico — y agua oxigenada de volumen 110°.  
  
Durante el bañado, se agita el recipiente procurando un ataque homogéneo de las superficies de ambas caras. Este proceso puede interrumpirse sumergiendo la placa en agua tantas veces como sea necesario, para comprobar si necesita más exposición al ácido.
5. **Taladrado de vías y orificios.** Con el proceso de revelado concluido, queda taladrar la placa para obtener las vías, contactos de agujero pasante y otros orificios para el ensamblado mecánico.
6. **Metalización de vías.** La forma más elegante y cómoda de metalizar las vías es utilizando un hilo de cobre, con el cual se "cose" la placa atravesando sus vías con dicho hilo, y posteriormente se suelda por ambas caras. El hilo excedente se desecha cortándolo con una cuchilla.
7. **Soldado de componentes.** Por comodidad, se comienza con los componentes SMD y posteriormente se sueldan los de agujero pasante. Para encapsulados de pequeño tamaño (en este proyecto la mayoría) será necesario el uso de microscopio o lupa.
8. **Deposición de película aislante.** Se aplica una capa de resina líquida que sirve de protección y aislante eléctrico.

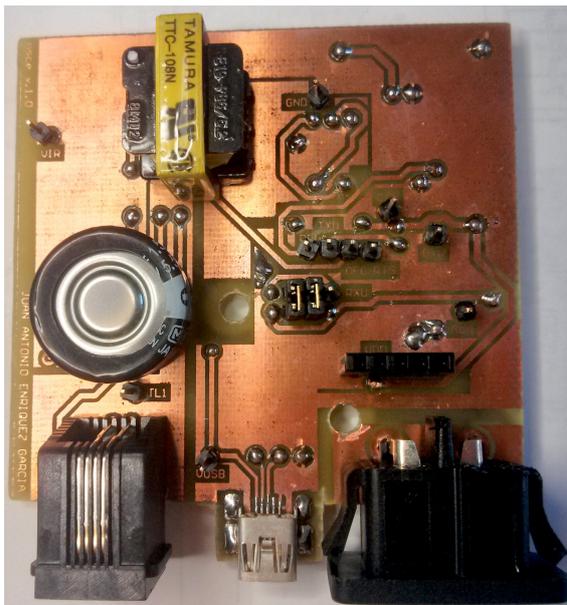
En las siguientes imágenes se pueden observar el resultado del proceso de fabricación: sin componentes, y con el prototipo finalizado.



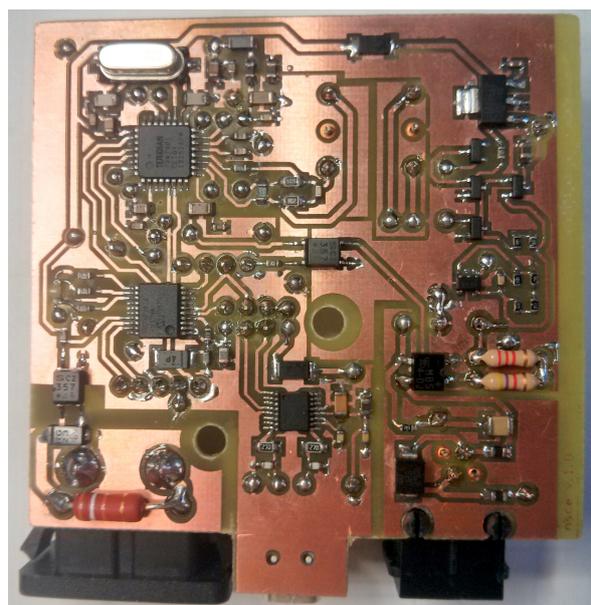
(a) Cara *top* de la PCB sin componentes.



(b) Cara *bottom* de la PCB sin componentes.



(c) Cara *top* de la PCB definitiva.



(d) Cara *bottom* de la PCB definitiva.

**Figura 5.8:** Resultados de fabricación de la PCB.

### 5.1.3. Diseño y fabricación de la caja

Una vez diseñada la placa de circuito y generado el modelo 3D con sus componentes ya se conocen todos los datos para realizar el diseño de la caja. Además, tras su fabricación se puede verificar la correspondencia de las dimensiones diseñadas y las reales.

Aunque se ha optado por un diseño sencillo, siempre existen algunas consideraciones delicadas. La principal **dificultad** proviene de las particularidades de la tecnología

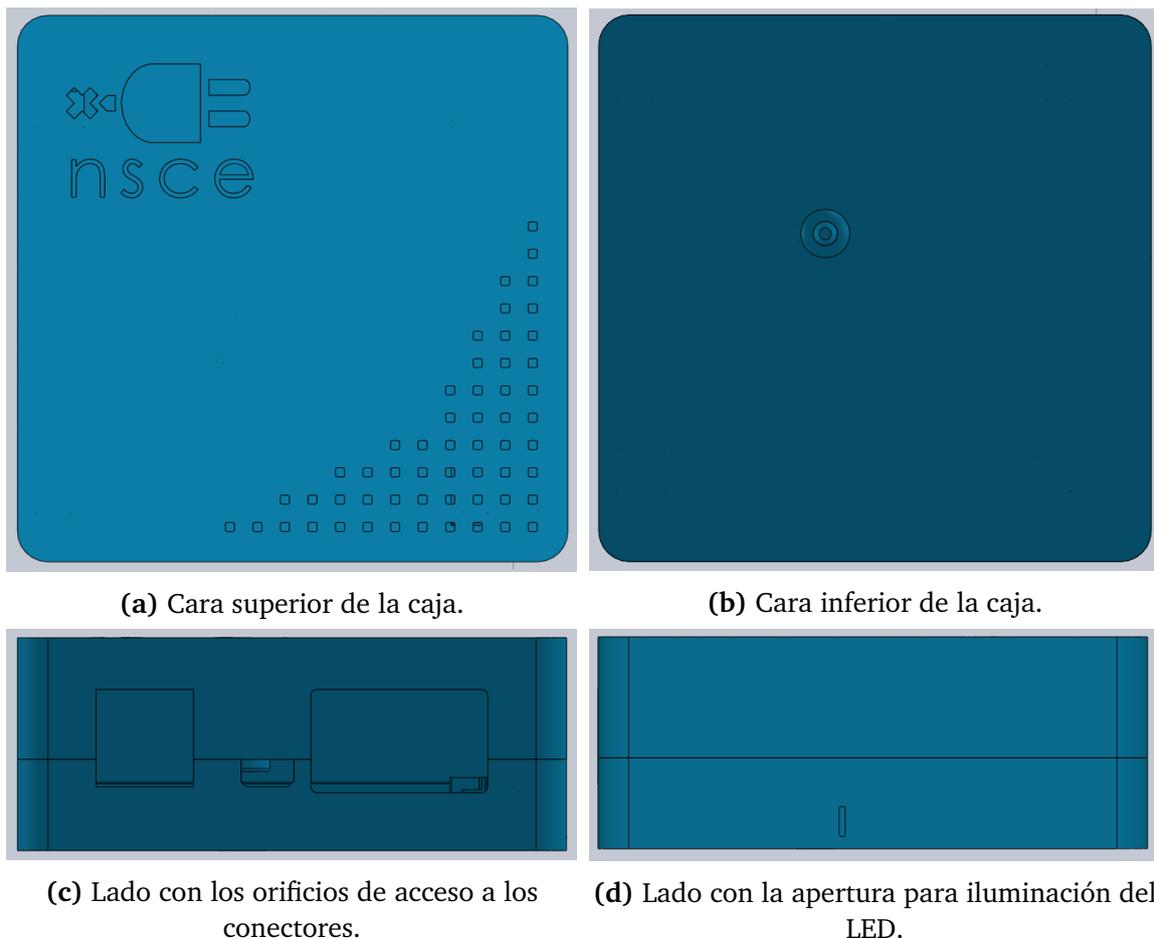
de fabricación y sus limitaciones. La impresión 3D por extrusión de plástico — además de una resolución mínima — obtiene resultados que puede diferir bastante de los del diseño debido a los mecanismos de deposición y a las transformaciones del material a lo largo del proceso.

Así mismo, la manera en la que se deposita el plástico, capa a capa y de arriba a abajo, impide la creación de voladizos o cualquier saliente que no disponga de una base que soporte el material fundido.

En cualquier caso, como se ha indicado, se ha realizado un **diseño simple**. Se trata de un contenedor cuadrado con las **cuatro esquinas redondeadas**, en la cual uno en de sus laterales se han dispuesto los **orificios para los conectores de la PCB**. En otro de sus laterales, se ha dejado un pequeño **hueco para poder observar la luz del LED RGB**.

En la **cara superior**, en la esquina superior izquierda se ha grabado el **logotipo del dispositivo** como elemento decorativo, junto con los orificios del área inferior derecha, que también hacen de rejilla por la cual disipar el calor.

En la **cara inferior** solo se aprecia el **agujero que albergará el tornillo de sujeción** de la parte inferior de la caja, la placa de circuito impreso y la carcasa superior, a la cual se enrosca dicho tornillo.



**Figura 5.9:** Vistas destacada de la caja.

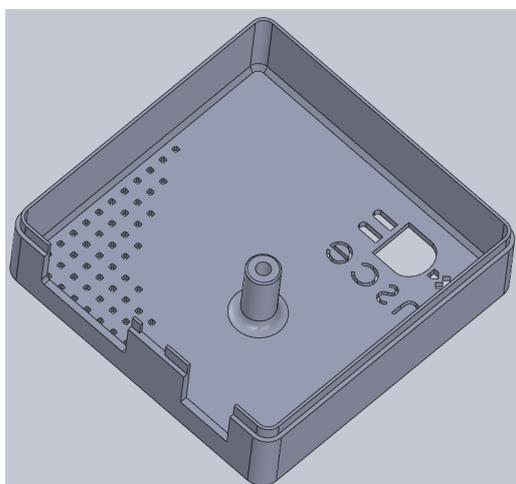
En el **interior de la caja**, en la **parte inferior** se distinguen **cuatro pequeñas columnas** que constituyen los soportes sobre los que reposa la placa e intervienen

en la fijación de la misma, para que permanezca inmóvil una vez atornillada toda la estructura.

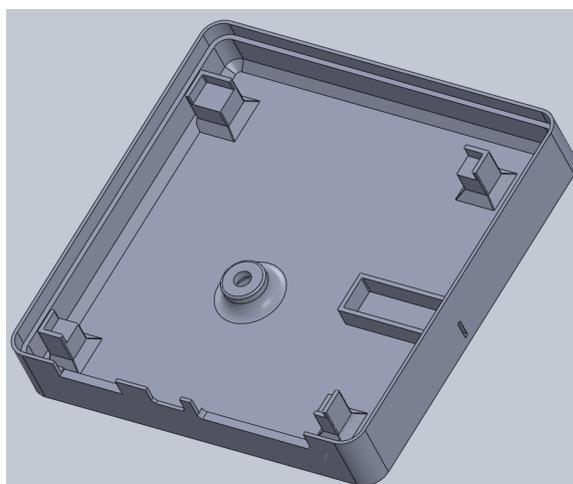
Igualmente también se aprecian los **cilindros** que atraviesa y en el que se enrosca el **tornillo de sujeción**.

También existe un **acanalamiento** en la parte derecha ideado para **evitar que la luz del LED se disperse demasiado** en el interior de la caja, y se perciba algo más intensa desde fuera por el orificio situado en la pared lateral.

Junto con la tornillería, para obtener un **ensamblado** preciso, en la unión entre ambas caras se colocan **dos perfiles complementarios que encajan al cerrar la estructura**, manteniendo el alineamiento perfecto entre la parte superior y la inferior.



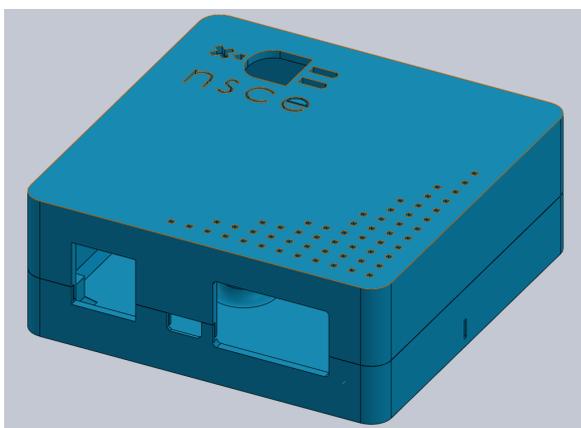
(a) Parte superior de la caja.



(b) Parte inferior de la caja.

**Figura 5.10:** Piezas de la caja.

Finalizado el proceso de fabricación, el modelo 3D se carga en la impresora con la que se obtiene los resultados de la figura 5.11b.



(a) Modelo de la caja.



(b) Resultado mediante impresión 3D.

**Figura 5.11:** Diseño y resultado de impresión de la caja.

## 5.2. Firmware

En cuanto al firmware del dispositivo, se diferencian dos partes: el programa ejecutado por la computadora, y el firmware del microcontrolador. En ambos, se ha usado principalmente el **lenguaje de programación C**, adaptado a las particularidades de cada plataforma — las cuales presentan notables diferencias —.

En primer lugar, se presentan las herramientas utilizadas en el desarrollo del firmware. Seguidamente, se discute la organización del código y las funciones principales de las dos partes del firmware.

### 5.2.1. Herramientas de desarrollo

Entre las herramientas de desarrollo se distinguen principalmente utilidades software. Aunque el firmware de este proyecto no precisa de densas e intrincadas estructuras de código, siempre es conveniente aprovechar las ventajas de los completos entornos de desarrollo como los seguidamente mencionados, pues facilitan en gran medida la labores de desarrollo.

La necesidad de alimentar y programar el dispositivo, así como la posibilidad de depurar el funcionamiento en tiempo de ejecución, sí precisa de hardware adicional.

#### Programador PICKit3

El único hardware necesario para desarrollar el firmware del dispositivo. Su utilidad esencial es **cargar el archivo de código binario en el microcontrolador**. Pero además, ofrece opciones como la depuración de código en tiempo real, o alimentación a diferentes voltajes (de 2 a 6 V) — entre otras muchas —, que facilitan bastante las labores de desarrollo.

La conexión física con el dispositivo se realiza mediante el **puerto ICSP** (sección 4.1.4). Su uso requiere la **instalación de un software específico** de programación de microcontroladores PIC. El utilizado en este proyecto, se presenta en el siguiente apartado.

#### MPLABX IDE

El **entorno de desarrollo de Microchip** — mejorado considerablemente en las últimas versiones — dispone de todas las herramientas para la gestión y el desarrollo de un proyecto software para cualquiera de los microcontroladores de dicho fabricante.



Figura 5.12: Programador Pickit3.

A partir de una interfaz funcional, entorno al editor de código se reparten distintas ventanas y botones para la gestión de los ficheros y documentos fuente del proyecto, barras de herramientas para compilación, depuración, escritura y lectura del código del micro, y una ventana para mostrar las salidas de los distintos procesos.

Igualmente, desde la barra de menús se puede acceder a estas funciones, además de a las múltiples opciones de configuración que contempla el software.

Así mismo, permite integrar distintos sistemas de control de versiones, y muestra información muy valiosa acerca del microcontrolador utilizado en el proyecto.



Figura 5.13: Logo MPLABX IDE.

Adicionalmente, se ha utilizado un complemento que incrementa la comodidad al trabajar con las distintas funciones que ofrece el microprocesador. Se trata de **MPLAB Code Configurator**. Mediante este software, la configuración de la frecuencia de operación, el uso de timers, los puertos de entrada/salida, puertos de comunicación, etc., no precisa de la escritura del código asociado, sino que mediante una interfaz gráfica a modo de asistente, se seleccionan los parámetros de configuración, y el propio software genera el código para dichas funciones.

Esto facilita enormemente los cambios de configuración, que no requieren acudir constantemente a la documentación del microcontrolador para modificar el valor de un determinado registro de configuración.

En cuanto al **compilador**, se ha utilizado el del propio fabricante, el **XC8**, cuya versión gratuita, aunque no es la más eficiente, es suficiente para las necesidades de optimización de este proyecto.

## Xcode

La aplicación con la interfaz de configuración del dispositivo se ha desarrollado para **Mac OS X**. Por ello, se ha hecho uso del **entorno de programación Xcode** de Apple.

Mediante esta herramienta se programan las aplicaciones para este sistema operativo, así como para la versión de *smartphones* y *tabletas* del fabricante. Por tanto, contiene todas las herramientas necesarias para llevar a cabo grandes proyectos software en diferentes lenguajes y con multitud de recursos. Muchos más de los necesarios para el desarrollo del programa sencillo que se pretende en esta aplicación.

En cualquier caso, su elección viene motivada por la **facilidad de integración del lenguaje C dentro del lenguaje Objective-C** — lenguaje de desarrollo del mundo Apple —, el cual no deja de



Figura 5.14: Logo Xcode.

ser una versión de *C++*. Otro punto a favor, ha sido lo intuitivo y cómodo que resulta su entorno para el desarrollo de interfaces gráficas.

### Drivers FTDI

Para poder **hacer uso del puerto USB como si del puerto serie** se tratase es necesario instalar en el computador los drivers proporcionados por el fabricante FTDI. Una vez instalados, el sistema operativo reconoce el dispositivo conectado como un terminal serie, permitiendo trabajar con el mismo, de forma transparente, a través de las funciones de programación habituales para comunicación serie.



Figura 5.15: Logo FTDI.

### Coolterm

Este software ofrece una **consola para el terminal serie simple y robusto**, muy útil en el desarrollo de las comunicaciones serie entre ordenador, microprocesador y módem. Sobre todo, en las numerosas pruebas realizadas con el módem desde el computador, evitando tener que programar el microcontrolador cada vez que sea necesario comunicarse con el módem. Un proceso mucho más lento y difícil de depurar.

### 5.2.2. Código fuente del microcontrolador

Los archivos fuente del microcontrolador consisten en una serie de funciones repartidas en distintos archivos '.c' con su correspondiente cabecera '.h'.

Algunos de ellos son **archivos autogenerados por el complemento Code Configurator**, en los que solo se han incorporado algunas líneas de código adicionales. Mientras que el resto han sido concebidos completamente desde cero, para satisfacer los distintos requerimientos de la aplicación.

Tras su compilación, el **archivo binario** tiene un tamaño de **3066 Bytes**, ocupando un **75 %** del los 4 KB de memoria ROM disponibles.

Seguidamente, se enumeran cada uno de esos archivos y se describe el contenido de los mismos. El código contenido en estos archivos se puede consultar en el CD de documentación complementaria.

#### Archivos creados a partir de *Code Configurator*

- **mmc**. Contiene la función de inicialización global del microcontrolador. Desde esta se llama a las funciones de inicialización específicas de cada funcionalidad (timers, pines, módulo UART y el oscilador).
- **pin\_manager**. Reúne una lista con macros de las funciones más sencillas de los puertos I/O. Junto con el método para inicialización de los pines, cuando no

actúan como entradas o salidas digitales, se incluyen métodos asociados a funciones como interrupciones hardware, comparadores, entrada/salida analógica, etc.

- **interrupt\_manager**. Recoge las macros para (des)habilitar las interrupciones, y contiene la rutina principal de interrupción, desde la que se llaman a las funciones de interrupción específicas en orden de prioridad.
- **tmr0**. Reúne todas la funciones asociadas al *timer0*.
- **eusart**. Define las funciones de configuración del puerto UART, y proporciona una pequeña librería de uso.

### Archivos fuente propios

- **main**. En él se encuentra el método principal del sistema.
- **modem**. Almacena las estructuras necesarias por el protocolo de envío de mensajes, y define las funciones para su construcción, inicialización del módem y envío del mensaje de texto.
- **rgb\_led**. Declara la función de asignación de colores del LED RGB.
- **system**. Contiene el método de comprobación del estado de la red eléctrica, y el método de actualización de la variable que almacena dicho estado.
- **timing**. Define funciones de temporización a partir del *timer 0*.
- **uart**. Incluye diversos métodos que constituyen una extensión de la librería **eusart** generada a partir de *Code Configurator*.
- **ui\_config**. Contiene la rutina para la configuración desde el computador de los parámetros de envío del SMS.

### 5.2.3. Código fuente del computador

Dado que la aplicación de configuración se ha desarrollado para Mac OS X, el lenguaje de programación utilizado es *Objective - C*. Este afecta principalmente a la parte relacionada con la interfaz gráfica, dado que las funciones de comunicación a través del puerto serie básicamente están implementadas en *C*.

Los archivos fuente, reciben la extensión '.m', mientras que los archivos de cabecera (*headers*) mantienen la extensión '.h'. El código relacionado con la interfaz gráfica, se incluye en un documentos de tipo '.xib'.

Los archivos que componen la aplicación son los siguientes:

- **main**. Desde el *main* se llama la función principal que ejecuta la aplicación.
- **AppDelegate**. En este archivo se almacenan las variables relacionadas con los elementos gráficos de la interfaz de la aplicación, y las funciones que gestionan las interacciones con la misma.

- **ConfigForm.** Alberga las funciones que constituyen verdaderamente la aplicación, es decir, aquellas relacionadas con la rutina de configuración: conexión con el dispositivo a través del puerto serie, creación de la trama de configuración, e intercambio de los datos de configuración con el dispositivo.
- **MainMenu.** Contiene la interfaz gráfica de la aplicación, la distribución y las propiedades de los distintos elementos.

### Interfaz gráfica

El resultado de la interfaz gráfica se observa en la figura 5.16. El formulario dispone de los tres parámetros necesarios para el envío del mensaje: número de notificación, número del centro de mensajes y mensaje de notificación.

Tras rellenar convenientemente el formulario, el botón *Configurar* llama a la función que establece la conexión con el dispositivo serie conectado a través del USB, y le envía la información de los campos del formulario formateada de acuerdo a la trama de configuración (Fig. 4.17). Posteriormente, espera la confirmación del dispositivo de que esta ha sido recibida correctamente.

La introducción de los datos con un formato incorrecto, o el resultado del proceso de configuración da lugar a distintos mensajes que aparecen en la zona bajo el formulario, a la derecha del botón *Configurar*.



**Figura 5.16:** Interfaz de configuración de *nsce*.

Así mismo, se ha aprovechado la aplicación para designarle al dispositivo un nombre más comercial **Notificador SMS de Corte Eléctrico (nsce)** y diseñar un logotipo que lo represente, que junto con el fondo de la interfaz gráfica — y el diseño de la caja contenedora del hardware — añade ciertas cualidades de presentación y estética al conjunto del proyecto.



# Capítulo 6

## Validación

Una vez concluida la implementación y fabricado el prototipo, es necesario verificar que se han satisfecho los requerimientos iniciales impuestos. Para ello, en este capítulo se revisa cada uno de los puntos del listado de dichos requisitos vistos en el capítulo 2, explicando las soluciones llevadas a cabo, y en que nivel han cumplido con lo esperado.

Muchos de los ítems se comprueban a medida que se desarrolla el sistema, tanto en la etapas de diseño e implementación, y por tanto, sugieren poca discusión más que la constatación evidente de su consecución. En cualquier caso, en algunos de ellos, se evalúan algunas de las características que han supuesto para el sistema.

La evaluación se organiza en capítulos análogos al capítulo de requisitos:

- Validación de requisitos funcionales.
- Validación de requisitos eléctricos.
- Validación de requisitos mecánicos.
- Validación de requisitos a nivel de proyecto.

### 6.1. Validación de requisitos funcionales

#### 6.1.1. Modos de operación e interfaz de configuración

En la fase de diseño del sistema **se contemplan los distintos modos de operación** y su funcionamiento hardware y el firmware de control.

El **reconocimiento automático del modo** se ha implementado simplemente conectando uno de las entradas digitales del microcontrolador a la línea de alimentación del USB. Dado que la configuración se realiza haciendo uso de una conexión USB, la presencia de tensión en la línea de alimentación de este puerto, hace que desde el bucle principal se llame a la función de configuración.

Por su parte, desde el ordenador se ejecuta la **aplicación de configuración**. La comunicación con el dispositivo tiene lugar a través de un **puerto serie virtual**, de acuerdo a lo sugerido.

Igualmente, la **interfaz de usuario** se trata de un formulario sencillo — que solicita los tres parámetros esenciales para el envío del SMS — y de uso evidente para

un cualquier usuario. Además de ocultar cualquier aspecto técnico relacionado con el protocolo de envío de la trama de configuración, se proporcionan mensajes que indican al usuario la acción a realizar en caso de error o uso inapropiado de la aplicación.

### 6.1.2. Sistema de notificación

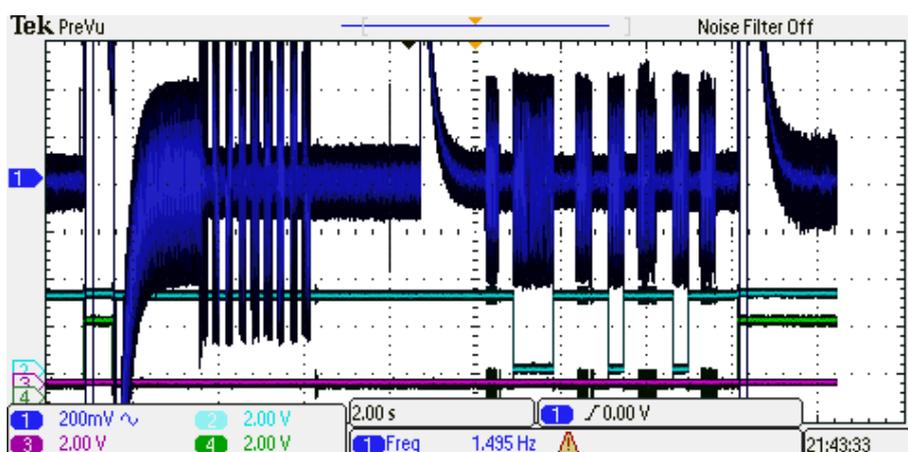
Una parte esencial del dispositivo es que la notificación se realice a través del estándar ETSI ES 201 912 [24]. Para la verificación de este punto ha bastado con **conseguir realizar el envío**.

Si bien, desde el domicilio en el que se han realizado las pruebas el proveedor de servicios no disponía del servicio de mensajes SMS habilitado, por lo que para **la verificación se ha realizado mediante el envío de correo electrónico** (servicio sí disponible).

**Esta variación tan solo supone el cambio de los valores de dos campos en el protocolo de envío** de mensaje. De modo que la consecución del envío, certifica la correcta implementación del protocolo de comunicación requerido.

En la figura 6.1 se puede observar una captura de osciloscopio, con la sucesión de señales y tramas intercambiadas en el envío satisfactorio de un mensaje. La señal 1 (trazo azul oscuro) representa **la señal en la línea de teléfono**.

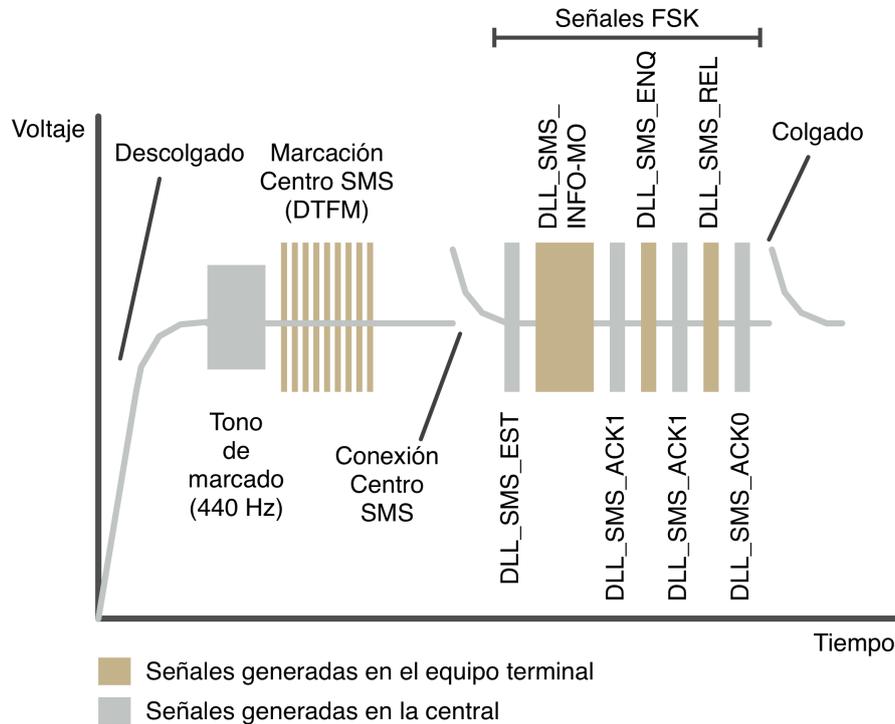
También vemos la existencia de otras señales digitales correspondientes a las líneas de control del módem, la línea 4 (verde) se corresponde con la señal DTR (*Data Terminal Ready*), y se activa (señal en baja) para indicar al módem que el microcontrolador va a iniciar una comunicación, permaneciendo activa durante todo el intercambio. Por su parte, la entrada 2 (azul claro), representa la señal RTS (*Request To Send*), que se activa en los intervalos de transmisión por parte del microcontrolador, y permanece en inactiva (en alto) durante la recepción. A partir de ella es inmediato identificar las tramas enviadas y las recibidas por el dispositivo.



**Figura 6.1:** Captura de las señales de la línea telefónica durante el protocolo de envío de mensajes.

En el diagrama de la figura 6.2 se muestra una simplificación de la señal capturada en la que se indica la correspondencia de las distintas partes de la señal con las tramas

del protocolo de envío de mensajes, de acuerdo a la secuencia de mensajes descrita en la sección 3.5.2, y representado en la figura 3.10.



**Figura 6.2:** Diagrama de las señales de la línea telefónica durante el protocolo de envío de mensajes.

### 6.1.3. Autonomía

El requerimiento de **autonomía ilimitada** se ha conseguido alimentando el dispositivo a través de la línea telefónica. Dadas las limitaciones de consumo que presenta la dicha red, ha sido necesario diseñar un sistema de alimentación intermitente e incorporar elementos de almacenamiento de energía eléctrica.

En cualquier caso, lo único que se ha sacrificado para poder otorgar dicha autonomía al sistema es el aumento en el tiempo de notificación en caso de un cambio en estado de la red eléctrica. Puesto que no había ninguna restricción en el sistema al respecto, esta opción ha resultado más conveniente que la obtención de la energía de la red eléctrica, por el coste y volumen que implica los elementos de conversión de potencia.

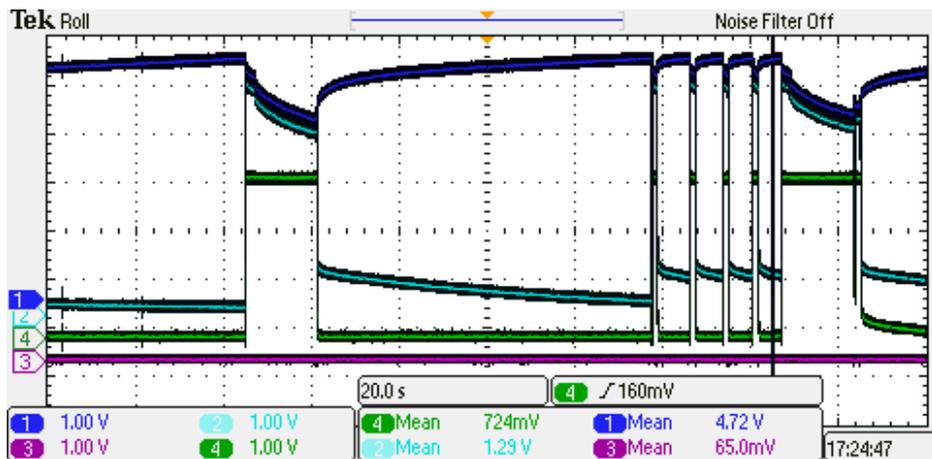
En las figuras 6.3a y 6.3b se aprecia la tensión en el condensador pila a lo largo de varios ciclos de operación del sistema. La señal 1 (azul) representa la tensión en el condensador de alimentación. Y la señal 4 (verde), se corresponde con la salida del sistema de alimentación intermitente, en la que se pueden observar los intervalos durante los que permanece activa e inactiva.

En la figura 6.3a, se aprecia la descarga, y el proceso de carga posterior, cuando el sistema cuando envía un mensaje de notificación tras verificar que ha tenido lugar un cambio del estado de la red eléctrica.

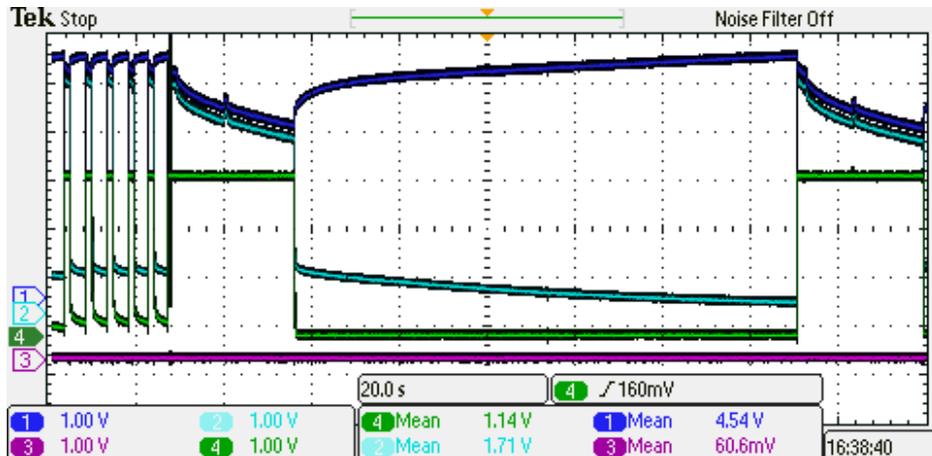
Una vez cargado, se suceden ciclos cortos de funcionamiento, en los que el sistema comprueba el estado de la red eléctrica en la que no ha ocurrido ningún cambio.

Posteriormente, otro cambio en el estado de la línea deriva en el envío de otro mensaje de notificación, alargándose el tiempo de ejecución y provocando una mayor descarga del condensador pila.

Por su parte, en la figura 6.3b, se observa un ciclo de carga ostensiblemente más largo. Este se corresponde con el envío de un mensaje de notificación que ha requerido dos intentos debido a algún fallo en el protocolo.



(a) Carga y descarga del condensador para envío del mensaje en el primer intento.



(b) Carga y descarga del condensador para envío del mensaje en el segundo intento.

**Figura 6.3:** Ciclos de carga y descarga del condensador de alimentación durante el funcionamiento del sistema.

En definitiva, los **tiempos obtenidos para los ciclos de alimentación y carga** son los siguientes:

- **Solo comprobación.** Cuando el sistema solo comprueba el estado de la red eléctrica, el tiempo de ejecución de la rutina es de **1.5 s**. El condensador re-

cupera la tensión necesaria para comenzar otro ciclo en un tiempo entre **5 y 6 s**.

- **Comprobación y envío de mensaje en el primer intento.** La de comprobación y envío se ejecuta en unos **16.5 s**, la energía consumida tarda en recuperarse en torno a **75 s**.
- **Comprobación y envío de mensaje en el segundo intento.** En este caso, la rutina del sistema tiene una duración de unos **30 s** — aproximadamente el doble que cuando se realiza solo un envío —, y el tiempo de carga que permite un nuevo ciclo de ejecución al sistema es de **115 s**.
- **Primera conexión del sistema.** Durante el funcionamiento regular, el condensador nunca se descarga por debajo de los **3.3 V** y los ciclos se carga y descarga tienen una duración breve.

Sin embargo, para el primer uso del dispositivo, el condensador puede estar completamente descargado. En este caso, el condensador alcanzará la tensión necesaria para activar la salida aproximadamente a los **22 min** tras haber conectado el dispositivo a la línea telefónica.

Como se observa, en el peor de los casos, el tiempo máximo que tardará en notificarse un cambio en el estado de la red es inferior a 2 min (más el retardo inevitable asociado al envío desde la central de mensajes por la red telefónica no superior a un minuto), y esto solo ocurrirá si existen dos cambios de estado consecutivos, ocurriendo el segundo justo tras la notificación del primero, en el que además, la notificación del mensaje ha requerido un segundo intento de envío.

Teniendo en cuenta la aplicación del dispositivo, estos tiempos son más que razonables, y para nada limitan la utilidad práctica del aparato.

## 6.2. Validación de requisitos eléctricos

### 6.2.1. Consumo del sistema

Los requisitos de consumo vienen dados en términos de potencia instantánea. Los niveles de tensión depende del modo de uso, y la corriente consumida varía a lo largo de la operación del sistema conforme a la utilización de unos u otros circuitos.

Los consumos máximos medidos para cada modo de operación son los siguientes:

- **Modo configuración.** Se utiliza la línea de alimentación de **5 V** del bus USB, y la corriente máxima obtenida de alimentar el convertor USB - UART, el microcontrolador y el LED RGB ha sido de **17.5 mA**. Por tanto, la potencia máxima resultante es **87.5 mW**.
- **Modo comprobación y notificación.** Despreciando el consumo del propio sistema de alimentación intermitente, el sistema genera una tensión de **3.3 V** a la salida, y la corriente máxima consumida es de **27 mA**. De modo que la potencia máxima es de aproximadamente **90 mW**.

Todos estos valores quedan bastante por debajo de los 300 mW máximos, y la tensiones y corrientes límite de 5 V y 80 mA, respectivamente.

Respecto al consumo de la interfaz con la red eléctrica, de acuerdo con el diseño presentado, el consumo en potencia media es de **880 mW**, inferior al máximo de 1 W especificado. Al margen del consumo, también se cumple los requisitos de aislamiento galvánico mediante el uso un optoacoplador.

### 6.2.2. Conexión con la red telefónica y sistema de notificación

Los requisitos derivados de los estándares *ETSI ES 203 021* [25], *ETSI EN 200 659-2* [15], *ETSI ES 200 778-2* [18], e *ITU V.23* [3] se reducen a los siguientes tres puntos, cuyo cumplimiento se refleja en el correcto funcionamiento de las diversas funcionalidades que la línea:

- **El control de la polaridad de la tensión DC.** A partir de un circuito rectificador como el **punto de diodos**, se ha garantizado la polaridad positiva de la línea, permitiendo **aprovechar la posibilidades de alimentación** de la red eléctrica.
- **La implementación de los estados de colgado y descolgado.** El parámetro principal que determina estos estados es la **resistencia que presenta la línea en ambos estados**, y las **características de las transiciones** entre ellos. Con el uso de un **optoacoplador como interruptor de línea**, cuando éste está activado ofrece una resistencia lo suficientemente baja haciendo que la línea entre en descolgado. Y cuando no está activado, la resistencia es prácticamente infinita. En cuanto a las transiciones entre colgado y descolgado, **la rápida transición del optoacoplador permite el cambio de un estado a otro en tiempos notablemente inferiores a los máximos permitidos.**

Si bien, se produce un incumplimiento del estándar *ETSI ES 203 021- 3* [28] en el punto *4.4.1 Resistencia DC*. Esta cláusula limita la corriente máxima del estado quiescente (colgado) a  $48 \mu\text{A}$ . En este sistema, como ya se explicó en la sección 4.1.9 del capítulo 4 de diseño, la corriente máxima el estado de colgado se establece en 7 mA — al menos para el caso de la infraestructura de red de las viviendas en las que se ha realizado las pruebas —, y **gracias a esta excepción ha permitido alimentar el sistema totalmente desde la línea telefónica.**

En cualquier caso, la justificación para dicha limitación en el estándar dice textualmente “*Interworking with the telephone network is assured by requiring the terminal equipment to present a sufficiently high DC resistance in quiescent state so as not to disturb the basic call control and to prevent the malfunction of network call control equipment*”[28].

Es decir, **lo primordial es la correcta interacción del dispositivo con la red telefónica**, de forma que no solo se garantice el funcionamiento adecuado del dispositivo en cuestión, sino que además, no puede causar ninguna interferencia negativa sobre otros posibles equipos terminales conectados a la línea, preservando el estado de colgado.

En estos términos, **se ha comprobado que con el dispositivo agregado a la red telefónica, el resto de equipos conectados a la línea en el domicilio de las pruebas — dos teléfonos y un módem ADSL — funcionan perfectamente, sin obstrucción alguna por parte del sistema de notificación.**

- **Las características físicas de las señales de comunicaciones de datos y los circuitos de envío y recepción de la mismas.** Quizás el punto más exigente de todos, por la diversidad de señales, la multitud de parámetros a considerar en cada una de ellas, y la complejidad de los circuitos de los transceptores.

Desde el punto vista del diseño de circuitos, tan solo se ha precisado llevar a cabo el **desacoplo de las señales de comunicaciones alternas de la señal DC de la línea, mediante el transformador, y el conexionado de los puertos analógicos dúplex con la línea semi-dúplex a partir de la red de componentes pasivos correspondiente.**

**El resto de parámetros han sido responsabilidad del módem** tras haber sido **configurado adecuadamente:** el tipo de estándar de comunicación, las señales de control desde la interfaz digital con el microcontrolador, y parámetros de temporización. Una de las mayores facilidades del módem, es la configuración de un parámetro que recoge el país de uso, con lo que automáticamente se asegura la conformidad con la mayoría de los mecanismos de la red telefónica.

Por un lado, el cumplimiento de los requisitos queda satisfecho desde la propia elección del módem. Y desde el punto de vista funcional, **la verificación del correcto funcionamiento del protocolo de envío de mensajes cortos a través de la línea fija, implica la aceptación de las diversas disposiciones de los estándares requeridos.**

## 6.3. Validación de requisitos mecánicos

### 6.3.1. Montaje de los componentes electrónicos

El cumplimiento de los requisitos de este apartado es de comprobación inmediata. El soporte físico de los circuitos es una **PCB a doble cara**, en la cuya **cara superior** se disponen la mayoría de **componentes de agujero pasante**, para los cuales no se han encontrado equivalentes de montaje superficial. En la **cara inferior**, se encuentran los componentes de **montaje superficial**.

Por lo demás, la interfaz eléctrica mantiene el espaciado indicado con el resto del circuito, y los conectores usados son de tipo **C7 para la red eléctrica, RJ-11 para la red telefónica y USB mini AB** de acuerdo a lo indicado.

### 6.3.2. Dimensiones, peso y encapsulado

Este listado de requerimientos también se ha satisfecho holgadamente:

- El **material** usado para la construcción de la caja ha sido **ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)**, material plástico y por tanto **aislante**.
- Las **dimensiones** máximas del dispositivo junto con la caja, son de **9 cm x 9 cm x 3.5 cm**, de modo que el volumen está por debajo de los **283.5 cm<sup>3</sup>**. No excede la dimensión máxima de 15 cm ni el volumen de 500 cm<sup>3</sup>.
- La **distribución de los conectores** — dispuestos todos en la misma cara lateral de la caja — y la **forma de la caja**, permite colocar la caja en cualquier superficie plana manteniendo el **acceso a dichos conectores de manera cómoda**, y organizar el cableado ordenadamente.
- El **peso** del dispositivo es de **106 g**, (50 g la PCB, 55 la caja, y 1 g el tornillo).
- El uso de tornillería se ha limitado a **un solo tornillo**, que sujeta las dos partes de la caja. El **alineamiento** del ensamblado se lleva a cabo mediante perfiles complementarios en cada una de las partes, que encajan cerrando la estructura de forma impecable.

## 6.4. Validación de requisitos a nivel de proyecto

Por último, los requerimientos a nivel de proyecto se han conseguido sin mayores problemas:

- La **duración del proyecto** ha sido justamente de **10 meses**, desde Octubre de 2013 a Julio de 2014.
- El **coste de materiales** del prototipo ha sido de **37 €**, por debajo de los 50 € máximos. En el anexo B se puede observar el BOM con todos los componentes, su precio, y el coste total.

# Capítulo 7

## Conclusiones

El último capítulo ofrece una valoración personal del proyecto acerca de los resultados obtenidos. Además, se surgieren las posibles recorridos que iniciar a partir de este trabajo mediante la sección:

- Líneas de trabajo futuras

Sin lugar a dudas, es oportuno abordar esta discusión destacando el satisfactorio resultado logrado con este proyecto. Si bien algunas partes del diseño adoptan esquemas habituales de los sistemas empotrados — como puede ser el uso del conversor USB - UART para permitir la comunicación entre el dispositivo y un ordenador —, los circuitos relacionados con la red telefónica requieren de un profundo conocimiento de multitud de conceptos (algunos ciertamente complejos) de los distintos sistemas que la componen, desde los circuitos básicos de algunos de los tramos de la red y sus particularidades eléctricas, hasta el funcionamiento de los distintos protocolos de comunicación que tienen lugar entre sus distintos nodos.

Alcanzar un entendimiento completo y específico de todos estos conceptos ha sido una tarea intensa, sin la cual habría sido absolutamente imposible afrontar un diseño mínimamente acertado.

Existen infinidad de estándares, en los cuales la labor de extraer el contenido útil resulta bastante ardua por lo diluido que éste se presenta entre el sinnúmero de formalidades técnicas de este tipo de documentos.

En cambio, la bibliografía abordada desde una perspectiva práctica es bastante reducida, de ahí que el planteamiento de los circuitos más interesantes sea fruto de una reñida lucha con la red telefónica, la cual finalmente no ha tenido más opción que sucumbir a los incontables ensayos que han permitido clarificar el funcionamiento de varios de sus mecanismos.

En concreto, el reto ha estado principalmente en dominar el módem *73M2901CE* — cuya documentación es insuficiente sin el conocimiento adecuados de los estándares asociados — para conseguir ejecutar el protocolo de envío de mensajes de forma correcta.

Al mismo nivel, otro auténtico desafío ha sido obtener de la red telefónica la energía eléctrica suficiente para proporcionar la autonomía al dispositivo, sin que ello derive en un comportamiento anómalo de la red, afectando negativamente al funcionamiento de la misma, así como de otros equipos que pudieran hacer uso de ella.

Este último, no solo ha requerido comprender los estándares, sino que ha precisado transgredir la normativa para descubrir la flexibilidad en la implementación real de ciertos parámetros — como ha sido el consumo de corriente el colgado — para optar a la solución más adecuada.

Por todo ello, por la dificultad que ha conllevado algunas etapas del diseño y el desarrollo del proyecto, podemos permitirnos valorar muy positivamente su desenlace.

Sin embargo, es justo reconocer que más allá de lo anecdótico y de la aplicación concreta aquí planteada, es poco práctico proponer la filosofía de envío de mensajes a través de la red telefónica fija como una alternativa real para otro tipo de sistemas domóticos.

Y no por su falta su utilidad o ineficiencia, sino porque dicha tecnología ha caído totalmente en desuso, y los proveedores de telefonía hace tiempo que empezaron a dejarla de lado.

Esto supone que muchos usuarios de la red ya no disponen de ella, y en los casos en los que es posible su uso, el mínimo conocimiento técnico (por parte del usuario) que puede implicar su habilitación, y la relación coste - servicio, relegan a los posibles sistemas basados en intercambio de mensajes a una posición poco ventajosa.

En cualquier caso, por el mero hecho del aprendizaje adquirido y de haber conseguido dar una solución eficaz al problema planteado, es admisible reconocer el éxito del proyecto.

## 7.1. Líneas de trabajo futuras

El trabajo que se deriva de la finalización de este proyecto atiende principalmente a dos cuestiones: **la revisión del proyecto para un esquema de fabricación industrial, y incorporación de mejoras y nuevas funcionalidades.**

Para el primer caso, sería necesario abordar los siguientes puntos:

- **Rediseño de la PCB para fabricación industrial.** El uso de tecnologías de fabricación automatizadas y más avanzadas, permite la selección de componentes más reducidos y mayor densidad de los mismos, minimizando las dimensiones del dispositivo considerablemente, y el coste consiguiente .
- **Rediseño de la caja para fabricación con plástico inyectado.** Permite incorporar mecanismos de cierre sin necesidad de tornillería, y proporciona un acabado profesional. Como en el caso de la PCB, el coste de fabricación de la caja por unidad disminuiría, pues el material es bastante más barato, y los altos costes iniciales — debido a la fabricación de un molde — quedan suficientemente repartidos entre el gran número de unidades.

- **Reducción de costes de materiales.** La fabricación de un prototipo supone la compra de un número reducido de componentes, a precios muchos poco competitivos frente a adquisiciones de grandes volúmenes para producción en grandes tiradas. El coste de componentes de 37 € se vería reducido considerablemente.
- **Desarrollo multiplataforma de la aplicación de configuración.** La idea del dispositivo como producto obliga a que la aplicación esté soportada por todos los sistemas operativos habituales (Windows, Mac OS X, y Linux).

Entre las posibles mejoras y ampliación de funcionalidades se distinguen:

- **Opción de llamada perdida.** En vez del envío del mensaje, una llamada perdida puede indicar el cambio de estado. Aunque no puede proporcionar en que sentido se produce dicho cambio, supondría una alternativa de emergencia para cuando el protocolo de mensajes no pueda completarse.
- **Envío de email o archivo de voz.** Se pueden incorporar en la interfaz de usuario (y los cambios consiguientes en el firmware) diversas opciones en cuanto al tipo de archivo enviado (de hecho esta opción ya ha sido implementada para la comprobación del funcionamiento durante el desarrollo de la aplicación).
- **Opción de consulta.** Aunque solo se ha contemplado la comunicación desde el domicilio al usuario, la recepción de mensajes por parte del dispositivo para posibles consultas de estado de la línea es una mejora perfectamente viable.
- **El uso de la comunicación mediante el protocolo de mensajes para otras aplicación domóticas.** Como ya se ha comentado, las posibilidades son tan amplias como se quieran imaginar. Aunque por ejemplo, en muchas aplicaciones habría que considerar nuevos circuitos para la red telefónica, como el de detección de línea en uso o descolgado paralelo, los cuales no han sido necesarios para este proyecto dada la inexistencia de usuarios que vayan a hacer realizar llamadas de voz durante el funcionamiento del dispositivo.



# Bibliografía

- [1] <http://antoniotoriz.blogspot.com.es/2013/08/internet-de-las-cosas.html>. 1.2
- [2] <http://www.renovgal.es/domotica.php>. 1.1
- [3] Módem a 600/1200 baudios normalizado para uso de la Red Telefónica General de Conmutación. Recomendación ITU-T V.23, ITU. 2.2.4, 3.4.5, 6.2.2
- [4] Power levels for data transmission over telephone lines. Recomendación ITU-T V.2, ITU, 1980.
- [5] Definitions of terms concerning data communications over the telephone network. Recomendación ITU-T V.7, ITU, 1988.
- [6] General structure of signals of international alphabet no. 5 code for character oriented data transmission over public telephone networks. Recomendación ITU-T V.4, ITU, 1988.
- [7] Equivalence between binary notation symbols and the significant conditions of a two-condition code. Recomendación ITU-T V.1, ITU, 1993.
- [8] Automatic answering equipment and general procedures for automatic calling equipment on the general switched telephone network including procedures for disabling of echo control devices for both manually and automatically established calls. Recomendación ITU-T V.25, ITU, 1996.
- [9] Public Switched Telephone Network (PSTN); Calling Line Identification Presentation (CLIP) supplementary service; Service description. Estándar ETSI ETS 300 648, ETSI, February 1996.
- [10] 2-wire analogue voice band interfaces; Loop Disconnect (LD) dialling specific requirements. Estándar ETSI ES 201 187 V1.1.1, ETSI, December 1998. 2.2.4
- [11] Specification of Dual Tone Multi-Frequency (DTMF) Transmitters and Receivers; Part 1: General. Estándar ETSI ES 201 235-1 V1.1.1, ETSI, May 2000. 2.2.4, 3.4.5, 3.1
- [12] Specification of Dual Tone Multi-Frequency (DTMF) Transmitters and Receivers; Part 2: Transmitters. Estándar ETSI ES 201 235-2 V1.1.1, ETSI, May 2000.
- [13] Specification of Dual Tone Multi-Frequency (DTMF) Transmitters and Receivers; Part 3: Receivers. Estándar ETSI ES 201 235-3 V1.1.1, ETSI, September 2000.

- [14] Access and Terminals (AT); Analogue access to the Public Switched Telephone Network (PSTN); Subscriber line protocol over the local loop for display (and related) services; Part 1: On-hook data transmission. Estándar ETSI EN 300 659-1 V1.3.1, ETSI, January 2001.
- [15] Access and Terminals (AT); Analogue access to the Public Switched Telephone Network (PSTN); Subscriber line protocol over the local loop for display (and related) services; Part 2: Off-hook data transmission. Estándar ETSI EN 300 659-2 V1.3.1, ETSI, January 2001. 2.2.4, 3.5.1, 6.2.2
- [16] Access and Terminals (AT); Analogue access to the Public Switched Telephone Network (PSTN); Subscriber line protocol over the local loop for display (and related) services; Part 3: Data link message and parameter codings. Estándar ETSI EN 300 659-3 V1.3.1, ETSI, January 2001.
- [17] Access and Terminals (AT); Analogue access to the Public Switched Telephone Network (PSTN); Protocol over the local loop for display and related services; Terminal equipment requirements; Part 1: On-hook data transmission. Estándar ETSI ES 200 778-1 V1.2.2, ETSI, November 2002.
- [18] Access and Terminals (AT); Analogue access to the Public Switched Telephone Network (PSTN); Protocol over the local loop for display and related services; Terminal equipment requirements; Part 2: Off-hook data transmission. Estándar ETSI ES 200 778-2 V1.2.2, ETSI, November 2002. 2.2.4, 3.5.1, 6.2.2
- [19] Access and Terminals (AT); Public Switched Telephone Network (PSTN); Harmonized specification of physical and electrical characteristics at a 2-wire analogue presented Network Termination Point (NTP). Estándar ETSI ES 201 970 V1.1.1, ETSI, August 2002.
- [20] TC1262. 500mA Fixed Output CMOS LDO. Data sheet, Microchip, 2002. 4.1.9, A.3
- [21] Access and Terminals (AT); Short Message Service (SMS) for PSTN/ISDN; Short Message Communication between a fixed network Short Message Terminal Equipment and a Short Message Service Centre (Corrections to ES 201 912 V1.1.1). Revisión ETSI TS 103 912 V1.3.1, ETSI, December, 2003.
- [22] Serial asynchronous automatic dialling and control. Recomendación ITU-T V.250, ITU, 2003.
- [23] Services and Protocols for Advanced Networks (SPAN); Short Message Service (SMS) for PSTN/ISDN; Service description. Estándar ETSI ES 201 986 V1.2.1, ETSI, April 2003.
- [24] Access and Terminals (at); Short Message Service (SMS) for PSTN/ISDN; Short Message Communication between a fixed network Short Message Terminal Equipment and a Short Message Service Centre. Estándar ETSI ES 201 912 V1.2.1, ETSI, August 2004. 2.1.3, 3.5, 6.1.2

- [25] Access and Terminals (AT); Harmonized basic attachment requirements for Terminals for connection to analogue interfaces of the Telephone Networks; Update of the technical contents of TBR 021, EN 301 437, TBR 015, TBR 017; Part 1: General aspects. Estándar ETSI ES 203 021-1 V2.1.1, ETSI, August 2005. 2.3.1, 6.2.2
- [26] 73M2901CE SMS and Half Duplex V.23 Operation. Application note, Teridian Semiconductor, 2005.
- [27] Access and Terminals (AT); Harmonized basic attachment requirements for Terminals for connection to analogue interfaces of the Telephone Networks; Update of the technical contents of TBR 021, EN 301 437, TBR 015, TBR 017; Part 2: Basic transmission and protection of the network from harm. Estándar ETSI ES 203 021-2 V2.1.2, ETSI, January 2006. 2.2.3
- [28] Access and Terminals (AT); Harmonized basic attachment requirements for Terminals for connection to analogue interfaces of the Telephone Networks; Update of the technical contents of TBR 021, EN 301 437, TBR 015, TBR 017; Part 3: Basic Interworking with the Public Telephone Networks. Estándar ETSI ES 203 021-3, ETSI, January 2006. 2.2.3, 3.5, 4.1.9, 6.2.2
- [29] 73M2901CE AT Command User Guide. Data sheet, Teridian Semiconductor, 2008.
- [30] 73M2901CE V.22bis Single Chip Modem. Data sheet, Teridian Semiconductor, 2010. 4.1.2, 4.1.8
- [31] MAX917–MAX920. SOT23, 1.8V, Nanopower, Beyond-the-Rails Comparators With/Without Reference. Data sheet, Maxim Integrated, 2010. 4.1.9
- [32] 2-wire analogue voice band interfaces; Loop Disconnect (LD) dialling specific requirements. Estándar ES 201 187 V1.1.1, ETSI, 2012.
- [33] PIC16(L)F1824/1828 Data Sheet. Data sheet, Microchip, 2012. 4.1.2
- [34] FT230X USB TO BASIC UART IC Version 1.2. Data sheet, FTDI Chip, 2013. 4.1.2, 4.1.6
- [35] Appliance couplers for household and similar general purposes - Part 2-2: Interconnection couplers for household and similar equipment. Estándar IEC 60320-2-2, IEC, 2014. 2.3.1
- [36] Daniel W Hart. *Electrónica de potencia*. Pearson Educación, SA, 2001.
- [37] Stephen J., Joseph J. Carr, and Steve Winder. *Understanding Telephone Electronics*. Newnes, Boston, fourth edition, 2001. 3.4



# Anexo A

## Cálculos de potencia

### A.1. Estimación de consumo instantáneo

Antes de detallar el esquema de alimentación es conveniente conocer, aunque no sea con demasiada exactitud, el consumo eléctrico del dispositivo. De esta manera, dejando cierto margen podemos asegurar que las opciones de alimentación propuestas son capaces de suministrar la energía necesaria para su funcionamiento.

Los componentes y su **consumo** de corriente conocido (o máximo cuando se trata de circuitos integrados) cuando la tensión aplicada es **3.3 V** son los siguientes:

- **Optoacoplador Red Eléctrica PC1.** El consumo del circuito del lado de la red eléctrica supone una potencia media de 880 mW como se anticipó en el apartado 4.1.7. Sin embargo, en el lado del fotoreceptor, el consumo de corriente es de **4 mA**.
- **Optoacoplador Interruptor Descolgado PC2.** Cuando se activa el interruptor, es decir, durante el descolgado, el consumo del circuito constituido por el LED del optoacoplador y la resistencia *R23* es de unos **4.5 mA**.
- **Módem 73M2901CE.** El consumo máximo de módem en operación normal es de **13.6 mA**. En estado inactivo el consumo se reduce significativamente hasta 1.85 mA
- **Microcontrolador PIC16F1828.** Operando a la frecuencia más alta la corriente máxima que requiere es de **3.6 mA**.
- **LED RGB.** En el caso de que los tres LEDs estén encendidos el consumo será de **7.32 mA**.
- **Convertor FTDI.** El consumo típico de corriente es de **8 mA**.

Por tanto, una situación en la que todos los circuitos estuviesen activos supondría un **consumo total de 41 mA**, que con una **tensión de 3.3 V** supondría una **potencia instantánea máxima aproximada de 136 mW**.

Circuito	Corriente (mA)
Optoacoplador PC1	4
Optoacoplador PC2	4.5
Módem 73M2901CE	13.6
MicroC 16F1828	3.6
LED RGB	7.32
Convertor FTDI	8
Corriente total	41
Tensión de alimentación (V)	3.3
Potencia total (mW)	136

**Cuadro A.1:** Consumo estimado máximo de los circuitos del dispositivo.

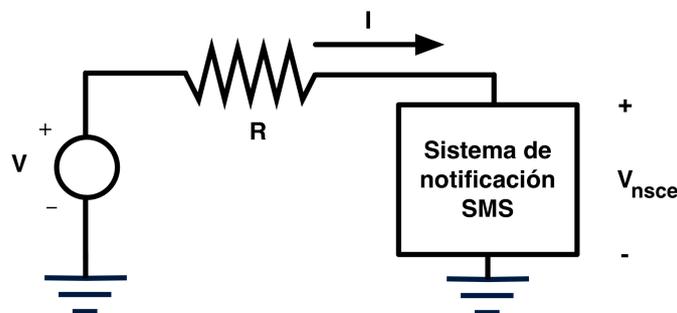
Aunque en realidad esta estimación es algo conservadora, pues estos circuitos estarán activos o inactivos en función del modo de operación. Y dentro de cada modo, el consumo será variable, sobre todo para los circuitos integrados complejos como el módem o el microcontrolador.

De cualquier modo, este cálculo nos permite comprobar que **el sistema podría alimentarse completamente desde el bus USB**, que suministra una tensión de 5 V y una corriente máxima de 500 mA. Sin embargo, como se ha explicado en la sección anterior 4.1.9, la línea USB se usará durante la configuración, que utiliza el convertor FTDI, el microcontrolador y el LED RGB, suponiendo por tanto unas necesidades de consumo menores.

En cambio, éstas estimaciones no han sido suficientes para asegurar el uso de la red telefónica como fuente de alimentación del dispositivo en modo normal.

## A.2. Caracterización del consumo

Para caracterizar el consumo del dispositivo se ha realizado el montaje de la figura A.1. Si bien no es el método más exacto, es suficiente para estimar el consumo, y poder dimensionar la capacidad de condensador que almacena la energía eléctrica requerida por el sistema.



**Figura A.1:** Montaje para la caracterización del consumo.

La prueba se realiza midiendo la tensión que cae en la resistencia  $R$  en serie con

el sistema. A partir de ella se calcula la corriente consumida por el dispositivo, y la tensión se obtiene directamente de sustraer la tensión que cae en la resistencia  $R$ .

La curva obtenida se aprecia en la captura del osciloscopio de la figura A.2. En ella aparecen tres ciclos de ejecución de la rutina del sistema cuando requiere el envío de una notificación.

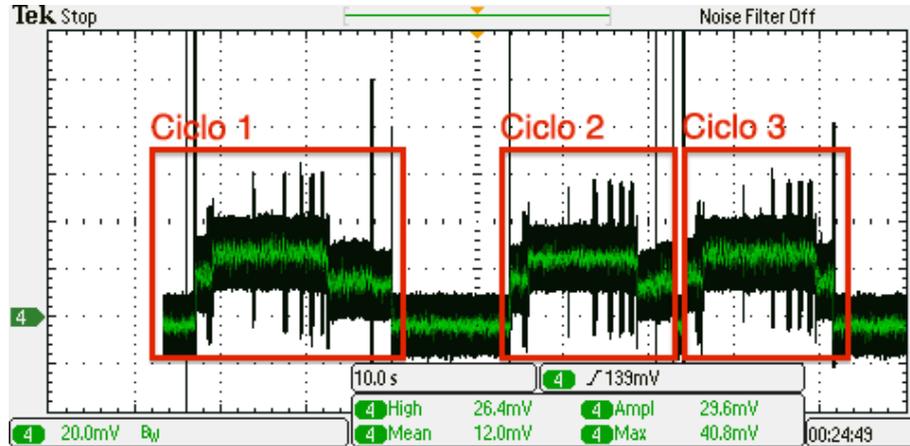


Figura A.2: Captura de ciclos de consumo.

A partir de las medidas realizadas sobre dicha curva, se obtiene las siguientes tensiones y corrientes como funciones definidas a trozos con respecto al tiempo:

$$V(t) = \begin{cases} 3,388V, & 0 < t < 2,12s \\ 3,378V, & 2,12 < t < 15,8s \\ 3,390V, & 15,8 < t < 20s \end{cases}$$

$$I(t) = \begin{cases} 18,7mA, & 0 < t < 2,12s \\ 26,4mA, & 2,12 < t < 15,8s \\ 16,5mA, & 15,8 < t < 20s \end{cases}$$

Por tanto, la potencia consumida en cada intervalo es la siguiente:

$$P(t) = \begin{cases} 63,4mW, & 0 < t < 2,12s \\ 89,2mW, & 2,12 < t < 15,8s \\ 55,9mW, & 15,8 < t < 20s \end{cases}$$

Por lo pronto, estos cálculos permiten verificar que el sistema se encuentra dentro de los límites de potencia instantánea indicados en los requisitos.

### A.3. Cálculo de capacidad de la condensador pila

Partiendo de la caracterización de consumo de la sección anterior, se estima la capacidad necesaria del condensador pila  $C23$ , para garantizar que se almacena la energía suficiente requerida para el funcionamiento del sistema.

En primer lugar, se calcula la carga que ha de almacenar el condensador para poder suministrar al sistema la corriente necesaria para su funcionamiento. Para ello

sencillamente, se multiplican las corrientes consumidas por el tiempo durante el que se consume dicha corriente

$$Q = I_1 \Delta T_1 + P_2 \Delta I_2 + I_3 \Delta T_3 = 0,47C$$

donde  $I_i$  y  $\Delta T_i$  para  $i = 1, 2, 3$  se corresponden con las tres corrientes medias y los intervalos de tiempo en los que se consume dicha corriente, respectivamente.

De acuerdo con la ecuación de la capacidad de un condensador

$$C = \frac{Q}{V}$$

necesitamos conocer también el voltaje que existe en los terminales del condensador, pues a partir se puede determinar la capacidad mínima requerida.

Para el diseño de la fuente se ha el regulador de salida fija 3.3V TC1262 [20], cuyo rango de entrada llega hasta los 6 V, y con un voltaje de dropout de 0.5 V. Es decir, que para mantener la salida a 3.3 V, la entrada debe ser superior a  $3,3V - 0,5V = 2,7V$ .

Esto implica que el condensador debe mantener una tensión en sus terminales entre 2.7 V y 6 V. En consecuencia, la carga disponible del mismo para alimentar el circuito es aquella almacenada entre la diferencia de tensiones máxima y mínima, por lo que la capacidad mínima para el funcionamiento de un ciclo de ejecución es

$$C_{min} = \frac{Q}{V_{max} - V_{min}} = 142,4mF$$

Sin embargo, hay que tener en cuenta varias consideraciones que incrementan el valor de esta capacidad:

- Los casos en los que el envío del mensaje **requiera de dos intentos**. El tiempo es aproximadamente el doble, por lo que también es el doble la carga necesaria a almacenar, y en definitiva, **se precisa el doble de capacidad**.
- La **tensión máxima soportada por el condensador** puede ser inferior a 6 V siempre que esté dentro del rango impuesto por el regulador. Esto también implica el aumento de la capacidad.
- En todo momento se está suponiendo el caso ideal en el cual la **eficiencia de la fuente de alimentación del 100%**. En la realidad, la fuente de alimentación también consume potencia.

Por tanto, para asegurar que el sistema de alimentación es capaz de suministrar la potencia adecuada durante el tiempo necesario, habrá que considerar capacidades en torno a **1 Faradio**, con un margen suficiente sobre el valor mínimo.

# Anexo B

## Planificación y estimación de costes

### B.1. Planificación

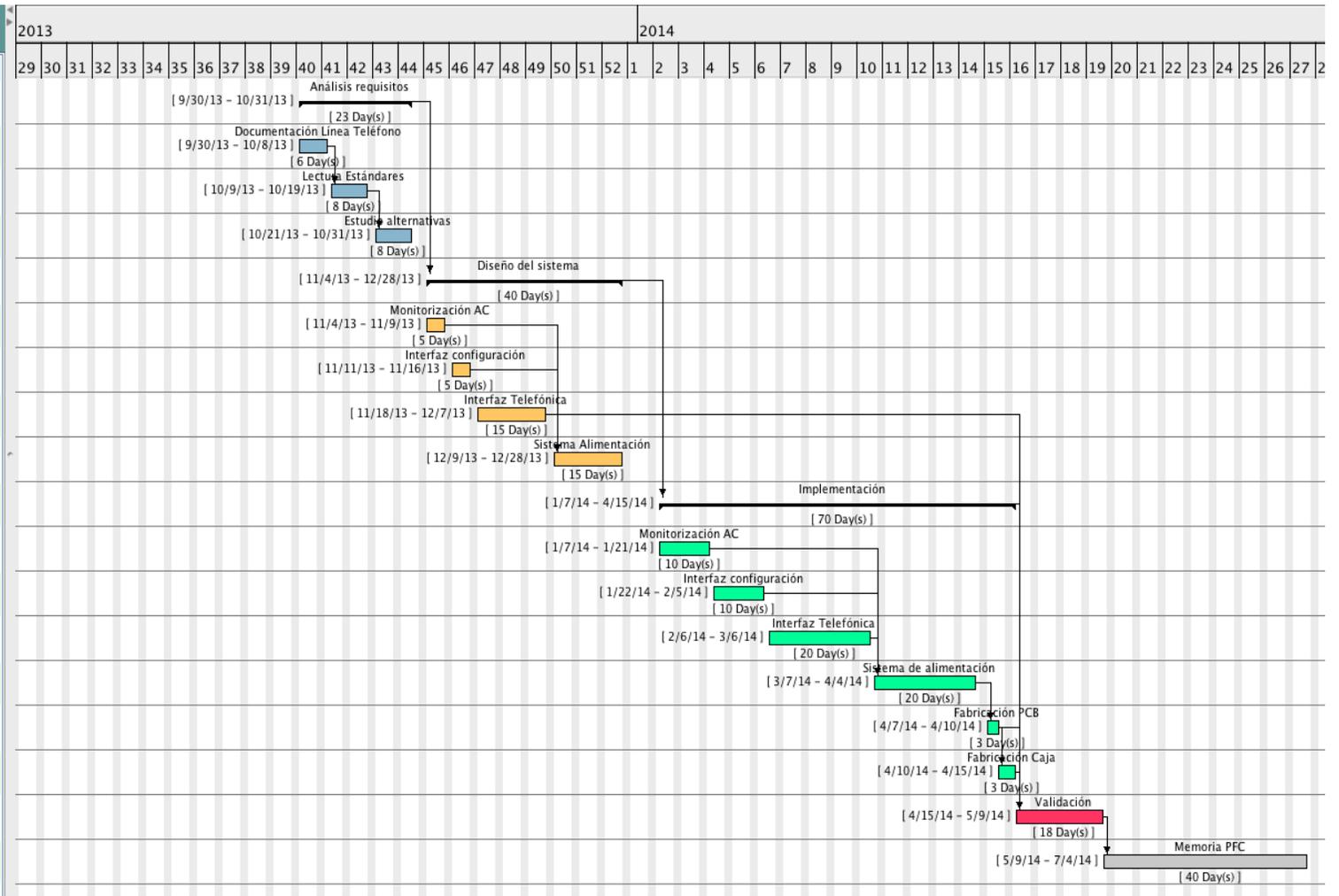
Las etapas del proyecto son la siguientes:

- **Análisis de requisitos y alternativas.** Requiere una documentación intensiva de los estándares de telefonía y un estudio de las posibilidades de diseño e implementación.
- **Diseño del sistema.** Comenzando por la selección de los componentes, es necesario definir el hardware y plantear el programa que gestiona el funcionamiento del sistema.
- **Desarrollo e implementación.** Esta fase permite comprobar la validez del diseño al tiempo que se va definiendo la implementación según la directrices de diseño. Desde esta fase, será necesario volver a la de diseño para revisar algunos de los planteamientos.
- **Validación.** Muchas de estas comprobaciones se van sucediendo a medida que se desarrolla el proyecto, mientras que otras necesitan que el proyecto esté concluido.
- **Realización de la memoria.** La producción de la memoria es resultado de un proceso de documentación en paralelo con el resto de actividades.

La temporización y el desglose de las actividades se muestran en el cronograma a continuación.

#### B.1.1. Cronograma

Name	Begin date	End date	ID
[-] Análisis requisitos	9/30/13	10/31/13	0
Documentación Línea T...	9/30/13	10/8/13	2
Lectura Estándares	10/9/13	10/19/13	6
Estudio alternativas	10/21/13	10/31/13	7
[+] Diseño del sistema	11/4/13	12/28/13	1
Monitorización AC	11/4/13	11/9/13	8
Interfaz configuración	11/11/13	11/16/13	9
Interfaz Telefónica	11/18/13	12/7/13	10
Sistema Alimentación	12/9/13	12/28/13	11
[-] Implementación	1/7/14	4/15/14	3
Monitorización AC	1/7/14	1/21/14	12
Interfaz configuración	1/22/14	2/5/14	13
Interfaz Telefónica	2/6/14	3/6/14	14
Sistema de alimentación	3/7/14	4/4/14	15
Fabricación PCB	4/7/14	4/10/14	4
Fabricación Caja	4/10/14	4/15/14	5
Validación	4/15/14	5/9/14	16
Memoria PFC	5/9/14	7/4/14	17



## B.2. Estimación de costes

Los recursos utilizados para la realización del proyecto se pueden clasificar en tres categorías: hardware, software, y humanos.

Los recursos hardware y software utilizados ya se han descrito en el capítulo 5 de implementación. Aquí se mencionan solo aquellos que suponen un coste económico adicional para el proyecto.

- **Hardware.** Para el desarrollo del proyecto no han sido necesarias más adquisiciones que la del programador *PICKit3* y los componentes para la fabricación del prototipo (siguiente sección B.2.1).
  - **PICKit3.** 52 €
  - **Fabricación del prototipo: PCB, componentes y caja.** 37 €.

Por tanto, el precio total del hardware adquirido es **89 €**.

- **Software.** Excepto el software *Altium Designer* y *Solidworks*, para los cuales se han utilizado las licencias disponibles en el departamento, el resto de software es gratuito.
- **Recursos humanos.** La totalidad del proyecto ha sido desarrollado por una sola persona. El coste del trabajo llevado a cabo para un perfil de ingeniero junior, si se considera un coste por hora de 20 €, se desglosa de la manera siguiente:
  - **Diseño del hardware.** 80 horas
  - **Diseño del firmware.** 60 horas
  - **Desarrollo e implementación del hardware.** 400 horas
  - **Desarrollo e implementación del firmware.** 120 horas

Lo que hace un total de **660 horas**, y un coste de **13200 €**.

Con todo ello, el presupuesto total es el siguiente:

Recurso	Precio (€)
Hardware	88
Humanos	13200
<b>Total</b>	<b>13288 €</b>

**Cuadro B.1:** Presupuesto del proyecto.

### B.2.1. Listado de materiales (*BOM*)

## Lista de Materiales NSCE (BOM)

Comentario	Descripción	Etiqueta	Footprint	Cantidad	Precio Unidad	Subtotal (€)
TTC108-N	Signal Ttransformer 300 Hz - 3.4 kHz 1:1	TRANS1	TTC-108N	1	5.580	5.580
73M2901CE	Modem	U1	TQFP80P900X900X120-32N	1	6.090	6.090
USB Mini AB	USB Connector Mini AB SMT	P2	MOLX-67503-1020_V	1	1.900	1.900
MBS2	Full Wave Diode Bridge	D5	SOP240P690X290-4N	1	0.288	0.288
Capacitor	Capacitor	C16	1608[0603]	1	0.013	0.013
Capacitor	Capacitor	C24, C28	J1-0603	8	0.014	0.112
Capacitor	Capacitor	C27	C1210	1	0.023	0.023
Capacitor	Capacitor	C5, C6, C11	C1206	3	0.013	0.039
Capacitor	Capacitor	C8, C17, C25	6-0805_M	3	0.048	0.144
Cap Pol1	Polarized Capacitor (Radial)	C23	EEC-F5R5U155 1.5F Capacitor	1	3.130	3.130
CAP_XXX	Capacitor	C1, C3, C12	6-0805_M	3	0.036	0.108
CAP_XXX	Capacitor	C14, C20	C1206	2	0.048	0.096
CAP_XXX	Capacitor	C26	J1-0603	6	0.013	0.078
COM-USB-FT230XS-IL16	USB - UART Converter	U3	SSOP-16_M	1	1.860	1.860
Power C7	Header, 2-Pin	P1	AC_CONN	1	0.760	0.760
Header 2X2	Header, 2-Pin, Dual row	P3	HDR2X2	1	0.100	0.100
Header 4	Header, 4-Pin	P4	RJ-11 -4W	1	0.600	0.600
Header 5	Header, 5-Pin	P5	HDR1X5	1	0.100	0.100
LBR2012T4R7M	Inductor	L1, L3, L4, L5	6-0805_M	4	0.080	0.320
HF70ACC321611-T	Magnetic-Core Inductor	L2	Chip2PinSM127P600-8N	1	0.176	0.176
MAX917	Comparator	U5	MAX917_SOT23	1	1.350	1.350
PIC16F1828	Microcontroller	U2	MCHP-SSOP-SS20_N	1	1.350	1.350
MOSFET-N	N-Channel MOSFET	Q2, Q3, Q4	FDN3XX Series SuperSOT-3	3	0.464	1.392
MOSFET-P	P-Channel MOSFET	Q1	FDN3XX Series SuperSOT-3	1	0.424	0.424
PC357N14J00F	Optocoupler	PC1, PC2	SOP240P690X290-4N	2	0.144	0.288
PM-LINEREG-TC1262-IL4	Regulartor 3.3 V	U4	SOT-223-DB3_M	1	0.448	0.448
RGB-LED	RGB LED	IC1	OVSRRGBCC3	1	0.750	0.750
DB2441600L	Rectifier Diode SMD	D1, D3, D4	DB22441600L	3	0.592	1.776
RGF1G	Rectifier Diode SMD	D2	DIOM4227X24N	1	0.315	0.315
Resistor SMD	SMD Resistor	R12, R16, R17, R18, R19,	J1-0603	16	0.013	0.208
Resistor Axial	Resistor Axial	R14, R15	AXIAL-0.3	2	0.050	0.100
Resistor Axial	Resistor 2W Axial	R2	AXIAL-0.6	1	0.080	0.080
Resistor SMD	SMD Resistor	R4, R5, R10, R11, R13	6-0805_M	5	0.014	0.070
tpa180	TVS Diode	TPAD1	SOJ127P530X265-2M	1	0.315	0.315
ATS111ASM-1	Crystal Oscillator	Y1	ATS111ASM-1	1	0.312	0.312
PCB	-	-	-	1	3.230	3.230
Caja ABS	-	-	-	1	2.270	2.270
					<b>TOTAL (€)</b>	<b>36.195</b>