



Máster en Redes y Servicios de Comunicaciones Móviles

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

PROYECTO FIN DE MÁSTER

*Pasarela modular de comunicaciones entre dispositivos
inalámbricos y el sistema domótico X10*

Autora: Esther de Gracia Corrales

Tutor: Joaquín Vaquero López

Co-tutor: M^a Cristina Rodríguez Sánchez

Curso académico 2008/2009

A mis tutores Joaquín y Cristina por enseñarme tantas cosas en este proyecto y de la vida. A mi familia por confiar en mí. A mis amigos por apoyarme en los buenos y malos momentos. Al Departamento de Tecnología Electrónica por todo lo aprendido con ellos y en especial al Despacho 155.

Mil gracias a todos.

Resumen

El desarrollo de la tecnología electrónica, la informática y la tecnología de comunicaciones, junto con su accesibilidad, ha propiciado la aparición de nuevas aplicaciones orientadas al hogar creando el denominado “Hogar Digital”, también conocido como Domótica. Se puede definir este término como el conjunto de sistemas necesarios para el control y la automatización de una vivienda, es decir, para la gestión inteligente de la vivienda aportando seguridad técnica y de intrusión, ahorro energético, confort y comunicación entre los distintos dispositivos presentes en el hogar y el usuario final. La Domótica se ha potenciado y difundido gracias a la facilidad de instalación y utilización de estos sistemas.

Este trabajo muestra un estudio de distintos dispositivos domóticos existentes en el mercado y las alternativas en cuanto a prestaciones y limitaciones de cada uno de ellos. Como consecuencia se ha detectado la necesidad de desarrollar pasarelas de comunicación entre las diferentes tecnologías existentes.

La experiencia adquirida por el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC) en el desarrollo de dispositivos inalámbricos, junto con los conocimientos adquiridos en el Máster Oficial en Redes y Servicios de Comunicaciones Móviles (Res-Móvil), han servido de punto de partida para la implementación, en forma de módulos independientes e interconectables, de las mencionadas pasarelas de comunicación con tecnologías inalámbricas orientadas a este concepto del “Hogar Digital”.

Se han diseñado, fabricado y validado dos prototipos de módulos originales y se ha adaptado un tercer módulo comercial. El primer módulo original es un dispositivo compatible con el sistema domótico X10 y el segundo es un dispositivo de tecnología inalámbrica Bluetooth para poner en contacto al usuario con el sistema X10. El tercer módulo es un módem GSM programado para controlar el sistema X10 de manera remota. Todos los módulos están dotados de comunicación serie para su interconexión.

Se ha descrito la metodología seguida para el desarrollo de estos módulos, incluyendo pruebas de funcionamiento y validación, y los resultados de la puesta en marcha en un entorno real. Por último, cabe destacar que este trabajo ha dado lugar a la realización de otros proyectos, actualmente en curso, como un interfaz multiplataforma para el control y monitorización de dispositivos inalámbricos en aplicaciones domóticas y un estudio para el desarrollo de un dispositivo inalámbrico basado en ZigBee.

Índice

1.	<i>Introducción</i>	9
2.	<i>Estado actual de la técnica</i>	13
2.1.	Aspectos generales.....	13
2.1.1.	Aspectos relacionados con el mercado actual.....	14
2.2.	Tecnologías presentes en los sistemas domóticos.....	14
2.2.1.	Red Doméstica y subredes.....	15
2.2.2.	Medios de transmisión.....	16
2.2.3.	Clasificación de las tecnologías y los protocolos de las Redes Domésticas... 18	
2.3.	Componentes de un sistema domótico.....	25
2.4.	Comunicaciones existentes en los sistemas domóticos.....	26
3.	<i>Objetivos</i>	29
3.1.	Justificación.....	29
3.2.	Objetivos generales y específicos.....	30
4.	<i>Materiales y métodos</i>	31
4.1.	Metodología de desarrollo.....	31
4.1.1.	Metodología general de diseño.....	31
4.1.2.	Herramientas necesarias para el diseño de sistemas.....	32
4.1.3.	Planificación real del proyecto.....	33
4.2.	Materiales empleados.....	36
4.2.1.	Entornos de desarrollo.....	37
4.2.2.	Tecnologías utilizadas en el proyecto.....	37
5.	<i>Implementación</i>	43
5.1.	Arquitectura del sistema.....	43
5.1.1.	Detalles de conexión.....	43
5.1.2.	Protocolo de comunicación.....	48
5.2.	Hardware de los módulos del sistema.....	53
5.2.1.	Módulo X10.....	54
5.2.2.	Módulo Bluetooth.....	67
5.2.3.	Módulo GSM.....	68
5.3.	Software de los módulos del sistema.....	70
5.3.1.	Módulo X10.....	70
5.3.2.	Módulo Bluetooth.....	73
5.3.3.	Módulo GSM.....	75
5.4.	Pruebas realizadas al sistema.....	77
6.	<i>Conclusiones</i>	81
	<i>Bibliografía</i>	83

Anexo A	85
A. Introducción al Sistema X10.....	85
B. Tecnología.....	87
Anexo B	102
Esquemático completo del módulo X10.....	101
Anexo C	104
Esquemático completo del módulo Bluetooth.....	105

Índice de figuras

Figura 1: Redes en las que se divide una Red Doméstica.....	16
Figura 2: Tecnologías y protocolos con mayor representación.....	18
Figura 3: Ejemplo de componentes que forman un sistema domótico.....	26
Figura 4: Fase 1. Comunicación del sistema X10 con el PC.....	34
Figura 5: Fase 2. Sistema Bluetooth-X10.	34
Figura 6: Fase 3. Sistema Bluetooth-X10 con hardware de aislamiento.	35
Figura 7: Fase 4. Sistema completo Bluetooth-X10.	35
Figura 8: Fase 1. Sistema GSM-X10.	35
Figura 9: Fase 2. Sistema completo GSM-X10.	36
Figura 10: Sistema completo de comunicaciones.....	36
Figura 11: Sistema completo de comunicación.....	44
Figura 12: Conexión entre módulos Bluetooth (derecha) y X10 (izquierda)..	44
Figura 13: Conexión entre módulo X10 y módem GSM. Prototipo real.	45
Figura 14: Diagrama de bloques del módulo X10.	46
Figura 15: Diagrama de bloques del módulo Bluetooth..	48
Figura 16: Trama de datos enviada al módulo X10. Función de ejecución.	52
Figura 17: Trama de datos enviada al módulo X10. Monitorización.	53
Figura 18: Prototipo del Módulo X10.....	55
Figura 19: Fuente de alimentación del módulo X10.....	55
Figura 20: Tensiones de la fuente de alimentación.	57
Figura 21: Circuito receptor del módulo X10.....	58
Figura 22: Señal de entrada al microcontrolador (PIC16F876) Xin	59
Figura 23: Señal de salida Xout del microcontrolador (PIC16F876).....	60
Figura 24: Transmisión Xout.	61
Figura 25: Circuito de transmisión del módulo X10.....	62
Figura 26: Transmisión transistor Q4.....	62
Figura 27: Transmisión IN Signal y Neutro.....	63
Figura 28: Circuito del microcontrolador.....	64
Figura 29: Circuito de comunicación y aislamiento.....	65
Figura 30: Circuito real del módulo Bluetooth.....	67

Figura 31: Descripción del Módem GSM/GPRS MTX-65.....	68
Figura 32: Descripción del Módem GSM/GPRS MTX-65.....	69
Figura 33: Organización del sistema para realizar la prueba 1	77
Figura 34: Organización del sistema para la realización de prueba 2.....	78
Figura 35: Organización del sistema para realizar la prueba 3	79
Figura 36: Modulación ASK por supresión de portadora.....	88
Figura 37: Paso por cero de la onda senoidal.	88
Figura 38: Diagrama de tiempos en transmisión [29].....	90
Figura 39: Diagrama de tiempos en recepción [29].	90
Figura 40: Transmisión de pulsos en sistema trifásico.....	91
Figura 41: Trama de transmisión del protocolo X10.	92
Figura 42: Ciclos de silencio.	93
Figura 43: Código de inicio.....	93
Figura 44: Código de casa.....	94
Figura 45: Representación del código numérico.....	95
Figura 46: Bloque completo de una instrucción.....	97
Figura 47: Tres ciclos de silencio entre bloques de instrucción.....	97
Figura 48: Ejemplo de transmisión del código A2.	98
Figura 49: Dos bloques completos consecutivos.....	99
Figura 50: Tiempo de bit.	99

Índice de tablas

Tabla 1: Estándares de interconexión entre dispositivos [3].....	20
Tabla 2: Tecnologías de control y automatización [3].....	21
Tabla 3: Prestaciones de las redes de control y automatización [3].....	22
Tabla 4: Ventajas e inconvenientes de las Redes de área local (LAN).....	24
Tabla 5: Proceso y herramientas para completar el diseño del sistema.....	32
Tabla 6: Conexiones internas del módulo X10.....	47
Tabla 7: Pines de entrada y salida del PIC y del MAX232.....	48
Tabla 8: Configuración de la comunicación serie RS232.....	52
Tabla 9: Asignación de comandos al código de función.....	53
Tabla 10: Pruebas de validación del hardware del módulo X10.....	66
Tabla 11: Código de casa.....	94
Tabla 12: Código numérico o de función.....	96

1. Introducción

El “Hogar Digital”, también denominado Domótica, es un concepto que se asigna a una vivienda que a través de equipos y sistemas y la integración entre ellos ofrece a sus usuarios funciones y servicios que facilitan la gestión y el mantenimiento del hogar, aumentan la seguridad, incrementan el confort y ahorran energía, costes y tiempo.

Muchas de las tecnologías que se utilizan en domótica se han diseñado exclusivamente para este fin, aunque otras han sido adaptadas de otros ámbitos de la industria para que cumplan unas funciones concretas en la vivienda. Este es el caso de la tecnología X10, cuyo primer sistema domótico fue desarrollado entre 1976 y 1978 por la empresa escocesa *Pico Electronics Ltd* [1], con la idea de obtener un sistema de control del hogar modular de manera remota.

En la actualidad, se puede definir X10 como un sistema de domótica que permite el control y la supervisión del hogar. Para ello, utiliza sensores que miden las condiciones del hogar y actuadores que controlan los distintos elementos presentes en éste (electrodomésticos, la iluminación, la climatización, las persianas, los toldos, las puertas y ventanas, las cerraduras, el riego, el suministro de agua, de gas, de electricidad, etc.) y que se comunican entre sí o con una unidad central de control. Tradicionalmente se han utilizado dispositivos programadores y consolas conectadas a la propia red eléctrica doméstica, obligando al usuario a estar físicamente próximo a estos dispositivos.

El principal atractivo del sistema domótico X10 es que usa la red eléctrica doméstica como medio transmisor de información, lo que permite reducir la instalación de sus dispositivos a la simple acción de conectarlos a una toma de

corriente. Véase el Anexo A para una descripción detallada del sistema domótico X10.

El empleo de tecnologías inalámbricas permite conectar al usuario con los elementos presentes en el hogar, tanto localmente (directamente o con mando a distancia) como remotamente (Internet o mediante telefonía móvil) [2]. La motivación para la realización de este trabajo es el desarrollo de dispositivos basados en estas tecnologías.

Para el control local, se propone el uso de tecnologías inalámbricas de corto alcance, como Bluetooth. Para el control remoto se pueden utilizar las plataformas habituales de comunicación con acceso a Internet y la red de telefonía GSM.

En este trabajo se desarrolla completamente una pasarela modular que permite conectar terminales móviles de usuario (teléfonos móviles, PDAs, etc.) a un módulo compatible con el sistema domótico X10. Esta pasarela consta de un módulo independiente para cada tecnología inalámbrica.

Inicialmente, se ha trabajado con módulos comerciales de las distintas tecnologías con el fin de identificar los problemas de compatibilidad y comunicación observados entre ellos. Dichos problemas se solventan en los módulos realizados.

Se han diseñado, fabricado y validado dos prototipos de módulos originales y se ha adaptado un tercer módulo comercial. El primer módulo original es un dispositivo compatible con el sistema domótico X10, y el segundo es un dispositivo de tecnología inalámbrica Bluetooth para conectar al usuario con el sistema X10. El tercer módulo es un módem GSM programado para controlar el sistema X10 de manera remota. Todos los módulos están dotados de comunicación serie para su interconexión.

Con los módulos desarrollados se puede configurar, controlar y monitorizar el sistema domótico en cualquier momento y lugar.

La estructura de este documento es la siguiente. El presente capítulo contiene la introducción general a este trabajo. En el segundo capítulo se describe y analiza la situación actual de los sistemas domóticos que se encuentran en el mercado, así como las distintas tecnologías de comunicación que coexisten en el hogar. En el tercer capítulo se presentan los objetivos. En el cuarto capítulo se describe la metodología así como los medio empleados. En el quinto capítulo se expone el sistema desarrollado y las pruebas realizadas tras su fabricación. En el último capítulo, se muestran los resultados obtenidos tras la puesta en marcha del sistema completo en un entorno real y los problemas

encontrados, detallando las aportaciones originales de este trabajo y los trabajos futuros que se puedan derivar del mismo.

2. Estado actual de la técnica

En el presente capítulo se expone la situación actual de la tecnología aplicada a los sistemas domóticos presentes en el mercado, sus características y sus limitaciones. Se hace especial hincapié en las tecnologías de comunicación empleadas en estos sistemas. Además, se presentan los elementos que forman el sistema y sus funciones.

2.1. Aspectos generales.

El “Hogar Digital” ofrece a los usuarios servicios y funciones como ahorro energético, control remoto de la vivienda y fácil manejo de los elementos del hogar, así como sistemas de ayuda a discapacitados y ancianos. Estos sistemas se pueden dividir en cuatro grupos teniendo en cuenta su finalidad: domótica, seguridad, sistemas multimedia y de telecomunicaciones.

El primer grupo, **domótica**, es el responsable de la automatización y del control local y remoto de aplicaciones y dispositivos domésticos mediante la instalación de sistemas para la iluminación, climatización, encendido y apagado de electrodomésticos, riego, control de suministro de agua, gas, electricidad, etc.

El segundo grupo es la **seguridad**, considerada en muchos casos como el origen del “Hogar Digital”. Estos sistemas están destinados a la protección del hogar y de sus habitantes, utilizando para ello elementos como sensores, alarmas técnicas, controladores de intrusión y cámaras que permiten detectar incendios, fugas de gas o inundaciones de agua, etc.

El tercer grupo está formado por **los sistemas multimedia** encargados de los contenidos de información y entretenimiento. Estos sistemas están relacionados con la captura, tratamiento y distribución de imágenes y sonido dentro y fuera

de la vivienda gracias a la instalación de dispositivos que facilitan su funcionamiento (radio, televisión,...).

Por último, el cometido del grupo de los **sistemas de telecomunicaciones** es la distribución de ficheros de texto, imágenes y sonidos para mantener informado al usuario y ofrecerle la posibilidad de tener el control del hogar de forma directa o remota, utilizando para ello tecnologías de comunicación.

Se ha hecho patente la necesidad de una interfaz que permita la interconexión entre cada uno de estos grupos. Este interfaz se ha ido desarrollando al mismo tiempo que los equipos domóticos, que a su vez han evolucionado junto con los sistemas electrónicos, informáticos y de comunicación.

En el siguiente apartado se explica el estado actual del mercado en este sector de manera general, teniendo en cuenta estos cuatro aspectos.

2.1.1. Aspectos relacionados con el mercado actual.

La oferta relacionada con el mercado del “Hogar Digital” ha evolucionado considerablemente debido a, entre otras razones, la utilización de tecnologías inalámbricas como uno de los componentes fundamentales de los sistemas domóticos y a la reducción de su coste. En la actualidad se dispone de sistemas sencillos de coste bajo o moderado.

En un principio, el diseño de los sistemas domóticos atendía a la tipología de la vivienda, pero actualmente se diseñan teniendo en cuenta las necesidades y la tipología del usuario.

La incorporación de las tecnologías inalámbricas está favoreciendo un nuevo diseño estructural de los sistemas domóticos.

En los siguientes apartados se describen las tecnologías presentes en el “Hogar Digital”, centrándose en las de comunicación e intercambio de datos y voz.

2.2. Tecnologías presentes en los sistemas domóticos.

Se comenzará describiendo las distintas infraestructuras (redes) que conviven en un “Hogar Digital”, para seguir con los medios de transmisión disponibles y finalizar con una clasificación de las distintas tecnologías y protocolos existentes en función de su propósito.

2.2.1. Red Doméstica.

La distribución y el funcionamiento del “Hogar Digital” implican la convivencia de distintas tecnologías y protocolos, algunos de uso específico y otros heredados del entorno industrial.

Se define la **Red Doméstica** [3] como *“la infraestructura necesaria para integrar los sistemas de seguridad, domótica, telecomunicaciones y multimedia del hogar digita...”*. Por tanto, se considera Red doméstica a cualquier conexión entre varios dispositivos que intercambian información y/o recursos.

Ésta se forma por la convivencia de distintas redes físicas, que integra los sistemas mencionados anteriormente, pudiéndose encontrar las siguientes redes:

- **Red de datos:** proviene del entorno industrial y es la encargada de distribuir los ficheros entre ordenadores, compartir dispositivos y aplicaciones, y de la comunicación vía telefónica. Todo ello usando una misma red, permitiendo acceder a Internet desde cualquier punto del hogar y compartir esta información con otros dispositivos simultáneamente.
- **Red domótica:** compuesta por los dispositivos y sensores encargados de la automatización y control del hogar.
- **Red de multimedia/entretenimiento:** permite la distribución de video y audio en el hogar. Está formada por los interfaces de usuario y los dispositivos de recepción y distribución.
- **Red de seguridad:** encargada de la seguridad del hogar y compuesta por el conjunto de sensores y dispositivos destinados a ello.

En adelante, se referirá a ellas como redes y no como subredes de la propia Red Doméstica.

La Figura 1, muestra la finalidad y los dispositivos que componen dichas redes:

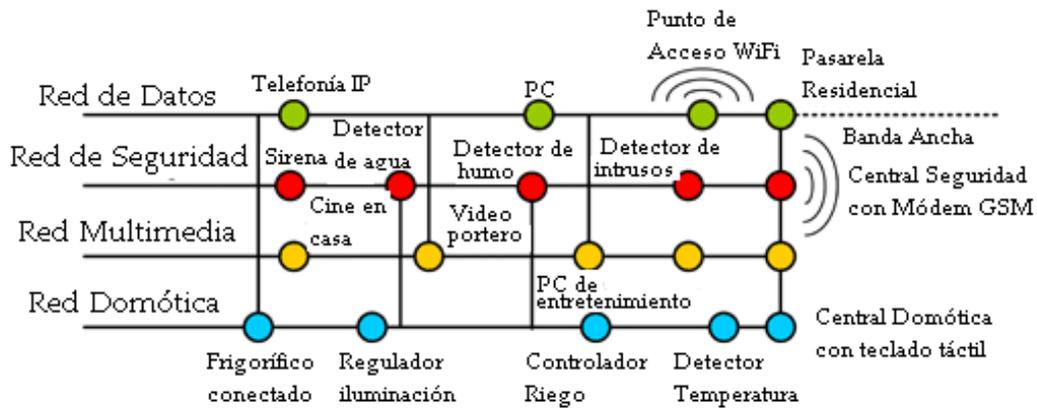


Figura 1: Redes en las que se divide una Red Doméstica.

Es deseable que todas las redes que forman la Red Doméstica utilicen un único soporte físico, pero en la práctica no existe ninguno óptimo para soportar todas las redes existentes en el hogar. La tendencia actual es la utilización del mismo soporte físico para las redes de entretenimiento y de datos, y otro soporte físico distinto para la red domótica. La red de seguridad, sin embargo, utiliza tecnologías propietarias o centralizadas para el envío de la información procedente de sus sensores y otros dispositivos al sistema central de seguridad o controlador. Este último tendrá el interfaz adecuado para conectar esta red a la de datos de la vivienda.

Por tanto, deberán coexistir distintos soportes físicos en un hogar que dependerán de los dispositivos a conectar y del tipo de información que se quiera intercambiar.

Finalmente, se debe decir que la solución propuesta en este trabajo pretende ofrecer un sistema que se adapte a las distintas tecnologías de manera transparente al usuario, ya que se utilizan dispositivos de uso habitual, como un teléfono móvil con Bluetooth para intercambio de archivos o mensajes de texto.

2.2.2. Medios de transmisión.

Los medios de transmisión o soportes físicos que se emplean para el intercambio de información entre los dispositivos de una red se dividen en dos grandes grupos:

- **Cableados:** utilizan el cable como soporte físico. Este grupo lo componen los sistemas que usan corrientes portadoras sobre la propia red eléctrica doméstica, cables coaxiales, fibra óptica, par apantallado, etc.
- **Inalámbricos:** son los sistemas que usan radiofrecuencia o infrarrojos, sin la necesidad de una instalación previa de cableado.

Dentro de los medios de comunicación cableados se distinguen entre cables de pares y cable coaxial.

Cable de pares.

Este tipo de soporte físico está formado por varios conductores de cobre, pudiendo transportar datos, voz y alimentación de corriente continua, por lo que se utilizan para un amplio rango de aplicaciones en el entorno doméstico. Pueden estar formados por un único conductor con un aislamiento exterior plástico, por un par trenzado (formado por dos hilos de cobre recubiertos y arrollados entre sí) o por un par apantallado (como el anterior pero recubierto por un trenzado conductor en forma de malla para aislar de las interferencias electromagnéticas exteriores).

Cable coaxial.

El cable coaxial está constituido por un conductor filiforme que ocupa el eje longitudinal del otro conductor en forma de tubo, separados ambos mediante un dieléctrico apropiado. Con este soporte físico se consigue el transporte de las señales de video y de datos a alta velocidad (10Mbps), aunque es inferior a la del cable trenzado (100Mbps).

Respecto de los medios de comunicaciones inalámbricos, se destacan las siguientes características.

Radiofrecuencia (RF).

Este concepto se aplica a la banda menos energética del espectro electromagnético, situado entre las frecuencias de 3 Hz y 300 GHz.

En principio, este medio de transmisión puede parecer muy adecuado para el control a distancia gracias a sus características, aunque se ve afectado por las perturbaciones electromagnéticas.

Infrarrojos (IR).

Esta comunicación se realiza mediante un diodo emisor que proyecta una luz en la banda de IR sobre la que se superpone una señal modulada, y

un fotodiodo receptor cuyo objetivo es el de extraer de la señal recibida la información transportada. Este medio de transmisión está protegido frente a perturbaciones electromagnéticas, aunque necesita línea de visión directa para su propagación.

La tecnología de infrarrojos está incluida en algunos dispositivos como sensores de movimiento o mandos a distancia.

En el presente trabajo se han utilizado medios de transmisión cableados e inalámbricos. En cuanto a los primeros se ha empleado la red eléctrica doméstica y cables serie. De las tecnologías inalámbricas de comunicación se han seleccionado Bluetooth y GSM, aunque gracias a la modularidad del sistema se permite la integración de otros tipos de tecnologías inalámbricas.

2.2.3. Clasificación de las tecnologías y los protocolos de las Redes Domésticas.

Las distintas tecnologías y protocolos existentes en un hogar digital pueden clasificarse en tres grupos: tecnologías y protocolos para interconexión de dispositivos independientes, tecnologías y protocolos para las redes de control y automatización y tecnologías y protocolos empleadas por las redes de datos de área local (LAN, *Local Area Network*), ver Figura 2. A continuación, se explica cada una de ellas brevemente.

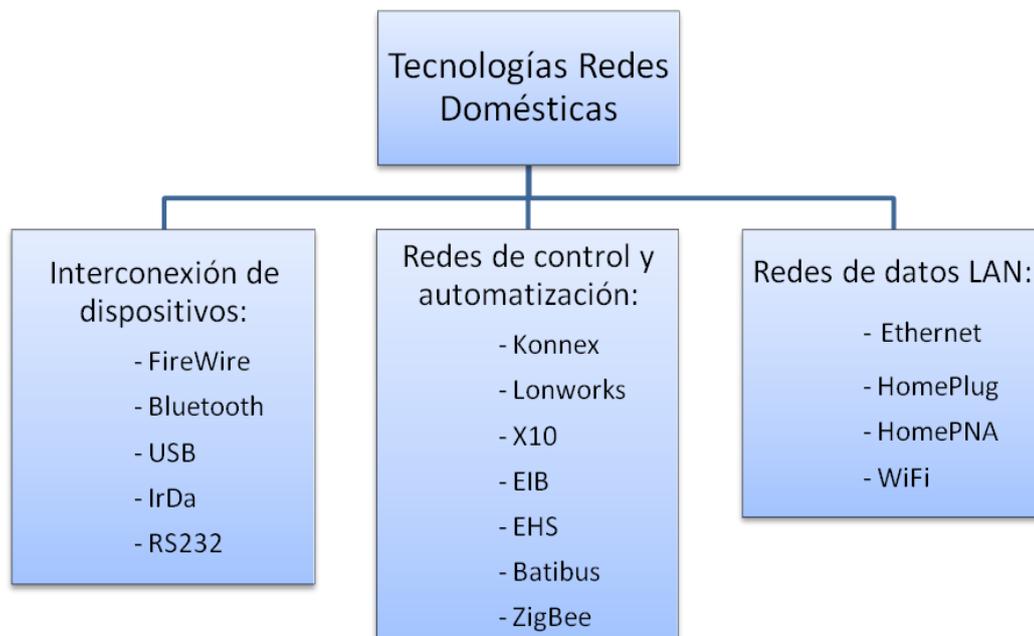


Figura 2: Tecnologías y protocolos con mayor representación.

- **Tecnologías y protocolos para la interconexión de dispositivos.**

Estas tecnologías se han establecido en el entorno del hogar para la interconexión de dos o más dispositivos, pero nunca con la intención de crear una red de área local.

Por un lado, están los estándares IEEE 1394 (conocido como *FireWire* por Apple Inc. Y como *i.Link* por Sony), USB y RS232, todos ellos por cable, que permiten interconectar varios dispositivos digitales. Uno de estos dispositivos debe ser siempre un controlador que se encargue de gestionar las transferencias de datos entre equipos como las cámaras de vídeo, impresoras, faxes, ordenadores personales, etc.

Por otro lado, el estándar IEEE 802.15.1 ([4] y [5]) conocido como Bluetooth, define un estándar global de comunicaciones inalámbrico para intercambio de datos y voz entre distintos dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia. Tiene su origen en Europa y nació con el objetivo de mejorar las prestaciones y resolver las limitaciones de las conexiones infrarrojas. Actualmente es uno de los estándares más utilizados dentro de las redes de área personal (PAN, *Personal Area Network*), a pesar de no presentar las mismas prestaciones que las redes inalámbricas de área local o las cableadas.

Por último, el estándar IrDA (*Infrared Data Association* [6]) permite el intercambio de información entre dispositivos que estén enfrentados mediante infrarrojos. Es una tecnología presente en la mayoría de los teléfonos móviles, PDAs (*Personal Digital Assistant*) y ordenadores portátiles, aunque tiene grandes limitaciones, requiere línea de vista y una distancia no superior a un metro para obtener tasas de transmisión de datos razonables, y está siendo sustituido por otras tecnologías que solventan estos problemas, como Bluetooth, USB o Wi-Fi. En la Tabla 1, se realiza una comparativa entre los ventajas e inconvenientes de estos estándares:

Tecnología	Ventajas	Inconvenientes
IEEE 1394	<ul style="list-style-type: none"> • Amplio soporte en los Sistemas Operativos de última generación • Gran ancho de banda • Ideal para aplicaciones de vídeo digital • Comunicación punto a punto 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita un cable por dispositivo • Tecnología cara en relación a sus prestaciones
USB	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad y configuración • Ideal para la conexión de todo tipo de dispositivos a un ordenador personal • Tecnología asequible en cuanto a precio 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita un <i>host</i>¹ que controle la conexión • Limitado por la distancia entre dispositivos
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de cables • Bajo consumo de energía bajo • Posible comunicación activa 	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración y puesta en marcha • Coste
IrDA	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología muy extendida • Fácil implementación y uso 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de línea de visión directa • Velocidad baja
RS232	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología asequible en cuanto a precio. • Puede enviar y recibir al mismo tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad baja • Grandes conectores • Limitaciones dependiendo de la distancia

Tabla 1: Estándares de interconexión entre dispositivos [3].

- **Tecnologías y protocolos de redes de control y automatización.**

Las tecnologías de control y automatización son las encargadas del intercambio de paquetes de datos de pequeño tamaño y tiempo de respuesta limitado, conocido como baja latencia. En la Tabla 2 se encuentra el origen y el ámbito de aplicación y en la Tabla 3 sus principales características.

Entre las tecnologías empleadas destacan Lonworks, EIB (*European Installation Bus*), EHS (*European Home System*) y X10. Estas tecnologías se han desarrollado gracias a la automatización industrial y al control de edificios. En el ámbito industrial han adquirido gran robustez, flexibilidad y buenas prestaciones, asegurando su éxito y su continuidad. Sin embargo, la ausencia de

¹ Un host o anfitrión es un ordenador que funciona como el punto de inicio y final de las transferencias de datos. Más comúnmente descrito como el lugar donde reside un sitio web. Un host de Internet tiene una dirección de Internet única (dirección IP) y un nombre de dominio único o nombre de host.

un único estándar conlleva un elevado coste de implementación y dificulta la popularización de los sistemas domóticos.

EIB y Lonworks [3] son dos tecnologías estandarizadas, que han sido utilizadas por muchas compañías en sus sistemas domóticos, aunque de alto coste. Por el contrario, la tecnología X10 es de bajo coste y se desarrolló especialmente para su implantación en viviendas. Ha conseguido una gran aceptación en este sector a pesar de sus limitaciones en cuanto a ancho de banda, a interferencias producidas por los ruidos propios de la red eléctrica doméstica y a que la "inteligencia" del sistema reside en un único dispositivo programado.

Para solventar la falta de estandarización, varias iniciativas (Batibus, EIB y EHS) se unieron desarrollando un único protocolo de comunicación, llamado Konnex, que actualmente es el estándar europeo [7].

Finalmente, con la aparición de internet se han potenciado nuevas iniciativas y protocolos específicos para los sistemas domóticos basados en TCP/IP. Sin embargo, en este trabajo se ha utilizado como tecnología de comunicación en el hogar el sistema X10 por su bajo coste, por el aprovechamiento de la red eléctrica doméstica y, por tanto, sin la necesidad de realizar nuevas instalaciones.

Iniciativa	Procedencia del promotor	País de procedencia	Ámbito de aplicación
Batibus	Merlin Gerin (Schneider Electric)	Francia	Europa
EIB	Siemens	Alemania	Europa
EHS	Comisión Europea	Unión Europea	Europa
X-10	Pico Electronics Ltd	UK	Mundial
LonWorks	Echelon	EE.UU	Mundial
CEBus	Asociación de Industrias Electrónicas de EE.UU.	EE.UU.	EE.UU.

Tabla 2: Tecnologías de control y automatización [3]

Tecnología	Medio de Transmisión	Velocidad de Transmisión (bps)	Distancia máxima al dispositivo (m)
LonWorks	1. TP 2. Cable eléctrico 3. Radio 4. Coaxial	1. 78Kbps-1.28Mbps (TP) 2. 5.4Kbps (Cable eléctrico)	1. 500-2700m (TP0)
X10	Cable eléctrico	60bps en EEUU 50bps en Europa	185m
BacNet ²	1. Cable coaxial 2. TP 3. Fibra óptica	1Mbps-100Mbps	Con Ethernet sobre TP: 100m
EIB	1. TP 2. Cable coaxial 3. RF 4. Infrarrojos	1. 9600bps 2. 1200/2400bps	1. 1000m 2. 600m 3. 300m
EHS	1. Cable eléctrico 2. TP	1. 2.4Kbps 2. 48Kbps	
Batibus	TP	4800bps	200m a 1500m en función de la sección del cable
Konnex (Batibus, EIB y EHS)	1. TP0 ³ 2. TP1 3. PL100 ⁴ 4. PL132 5. Ethernet 6. Radio	2. 9600bps (TP1) 3. 1200/2400bps (PL100) 4. 2.4Kbps (PL132)	2. 1000m 3. 600m
CEbus	1. TP 2. Cable eléctrico 3. Radio 4. Coaxial 5. Infrarrojos	10000bps	En función de las características del medio
DALI ⁵	Par de cable		200m
Metasys ⁶	N2 Bus	9600bps	1219m
SCP ⁷	Cable eléctrico	<10Kbps	

Tabla 3: Prestaciones de las redes de control y automatización [3]

² BacNet (de *Building Automation and Control Networks*) es un protocolo de comunicación de datos diseñado para comunicar entre sí a los diferentes aparatos electrónicos presentes en el hogar.

³ Protocolo de transporte de Clase 0 (TP0). Protocolo de transporte OSI no orientado a conexión que se utiliza a través de subredes seguras. Definido por ISO 8073.

⁴ PL100 y PL135: medios físicos basados en corrientes portadoras.

⁵ DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) es un estándar diseñado para el control de los niveles de iluminación utilizando un par de cable de comando.

⁶ Metasys: permite a los usuarios el control de los sistemas de iluminación, seguridad y control de los edificios utilizando la infraestructura informática y de comunicaciones interna del edificio o la red.

⁷ SCP (*Simple Control Protocol*): protocolo para redes de control basado en la transmisión de datos por la red eléctrica doméstica, con ancho de banda muy pequeño y optimizado para las condiciones de ruido características de ésta. Se trata de una conexión punto a punto para ofrecer múltiples servicios en la vivienda con un bajo y de manera segura.

- **Tecnologías para redes de datos de área local.**

Las redes de área local (LAN) engloban tanto a redes cableadas (Ethernet) como inalámbricas (Wi-Fi perteneciente al estándar IEEE802.11 [8]). En entornos domóticos se pueden utilizar los dos tipos de redes. Ethernet posee un cableado estructurado, típico de una instalación de oficina, con total seguridad y flexibilidad. Además, garantiza una mayor velocidad de transmisión de datos respecto a las redes inalámbricas y tiene un coste muy razonable.

Como alternativa a las redes cableadas, y muy demandadas en la actualidad, se encuentran las redes inalámbricas. Utilizan tecnología de radiofrecuencia, permitiendo mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. Las WLAN (*Wireless Local Area Network*), están adquiriendo importancia en muchos campos como la domótica al ofrecer mayor flexibilidad y una instalación más sencilla que con Ethernet. Entre los problemas que presenta este tipo de comunicaciones está la sensibilidad al ruido existente en el entorno y la falta de escalabilidad.

Por otro lado existen tecnologías como HomePlug y HomePNA. La primera aprovecha la red eléctrica de la vivienda y la segunda las tomas telefónicas de ésta, consiguiendo redes de área local de prestaciones razonables.

La red HomePNA está destinada a las viviendas que tengan toma de teléfono en cada habitación. Se ha desarrollado para el mercado norteamericano debido a que en las viviendas europeas no es habitual tantas tomas de teléfono por hogar. Además, se han encontrado problemas de compatibilidad entre esta tecnología y la de bucle de acceso VDSL o VHDSL (*Very High bit-rate Digital Subscribe Line*).

HomeRF fue otra iniciativa que reutilizaba la tecnología europea DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*). DECT nació como una iniciativa para normalizar y mejorar la transmisión inalámbrica de la voz en telefonía fija. El despliegue de otras tecnologías, como Wi-Fi, la hizo desaparecer a pesar de que en algunas ocasiones ofrecía mejores prestaciones que sus competidores.

Wi-Fi está mejorando sus prestaciones y disminuyendo su precio, pero el problema principal de esta red es la seguridad y la posibilidad de acceder a la información desde el exterior de la vivienda. La versión IEEE 802.11n [8] aumenta la seguridad de esta tecnología.

Home Plug y HomePNA no tienen este problema de seguridad al transmitir sus señales por la instalación eléctrica y el cable telefónico respectivamente,

aunque es necesaria la instalación de filtros para que la señal no se propague a las viviendas contiguas.

En la Tabla 4 se muestra un resumen con las ventajas e inconvenientes de las distintas tecnologías LAN.

Tecnologías LAN	Ventajas	Inconvenientes
Ethernet	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología de red doméstica más rápida • Muy segura • Fácil de mantener después de la instalación 	<ul style="list-style-type: none"> • La instalación de cableado de red y dispositivos de red puede resultar costosa • La configuración y puesta en marcha tiene cierta complejidad
HomePlug	<ul style="list-style-type: none"> • Coste bajo de implementación • Ausencia de cableado adicional • Alto ancho de banda 	<ul style="list-style-type: none"> • Oferta limitada de productos • Inexistencia de instaladores especializados
HomePNA	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación fácil y económica • No requiere equipos de red • Velocidad aceptable 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de rosetas • Velocidad limitada según aplicaciones • Ruidos
IEEE 802.11a	<ul style="list-style-type: none"> • Alto ancho de banda • Bien protegido contra interferencias 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance limitado • Coste • Incompatible con 802.11 b y g
IEEE 802.11b	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance y velocidad • Compatible con 802.11g 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede sufrir interferencias por trabajar en una banda muy colapsada
IEEE 802.11n	<ul style="list-style-type: none"> • Alcance y velocidad • Mayor seguridad que las versiones anteriores 	
Home RF	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere punto de acceso • Fácil instalación 	<ul style="list-style-type: none"> • El Home RF Working Group se disolvió en 2003

Tabla 4: Ventajas e inconvenientes de las Redes de área local (LAN)

A continuación, se van a citar brevemente algunas ventajas e inconvenientes de estas tecnologías de comunicación desde el punto de vista de la aplicación en la vivienda [3] teniendo en cuenta la Tabla 4 y los puntos anteriores.

Por un lado Bluetooth, permite la transmisión de datos en ambos sentidos, posee una cobertura de hasta 100m y garantizan la transmisión en tiempo real de audio y video comprimido. Por otro lado, la tecnología HomeRF alcanza los 10 Mbps y permite, al igual que Bluetooth, el intercambio de audio y de video sin interrupciones. La versión IEEE 802.11b de Wi-Fi alcanza los 11Mbps y una cobertura de hasta 100 metros, aunque es incapaz de garantizar la latencia y el

determinismo necesarios como para mantener una conversación de Voz sobre IP o transmisión de vídeo sin retardo y/o cortes.

Una ventaja que tienen las tecnologías inalámbricas y la HomePlug es la alta disponibilidad de poder acceder a la red desde cualquier punto de la vivienda sin la necesidad de realizar obras o reformas. El inconveniente de estas redes es que el equipamiento tiene un coste mucho mayor que el de las redes cableadas.

Otro problema que presentan las redes inalámbricas, HomePNA y HomePlug es que la velocidad o el ancho de banda es mucho menor que en las tecnologías cableadas.

En cuanto a Bluetooth e IrDA, son las más adecuadas desde el punto de vista económico y de prestaciones. Un aspecto muy importante a considerar en los sistemas domóticos es tener la posibilidad de utilizar la agenda electrónica o el teléfono móvil como controlador universal de todos los dispositivos del hogar e intercambiar datos entre ellos de una forma rápida y sencilla.

2.3. Componentes de un sistema domótico.

Conocidos los aspectos generales de las tecnologías que conviven en el “Hogar Digital”, a continuación se describen los principales elementos constitutivos de un sistema domótico.

Para conseguir el control y la monitorización del hogar se necesitan distintos componentes. El sistema domótico, al igual que los sistemas de comunicaciones, está formado por un emisor, un canal de transmisión y un receptor. También existen elementos de seguridad y optimización que ayudan a su correcto funcionamiento.

En primer lugar, están los **controladores** como módulos de información, encargados de gestionar todos los elementos que forman el “Hogar Digital”. Es la instalación central y en él reside toda la inteligencia del sistema. Contiene los interfaces de usuario necesarios para presentar la información a éste. De esta manera se puede monitorizar los diferentes subsistemas.

Otro elemento importante es el **actuador** como dispositivo de salida capaz de recibir una orden del controlador y transformarla en señales de aviso, regulación o comunicación. Los actuadores permiten que los elementos controlados en el hogar cumplan las acciones enviadas desde el controlador.

Los **sensores** son los componentes que monitorizan continuamente el entorno con el objetivo de informar al controlador. Se comunican con este último mediante la tecnología existente en el hogar.

En función del sistema empleado pueden ser necesarios otros componentes adicionales. En los sistemas X10 existen dos tipos de **filtros** cuyos cometidos son, por una parte, para aislar los aparatos conectados a la red eléctrica doméstica que puedan interferir en las comunicaciones y, por otra parte, evitar que las señales de comunicaciones se propaguen más allá de la propia instalación eléctrica e interfiera con las instalaciones colindantes.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de una disposición de los elementos presentes en un sistema domótico.

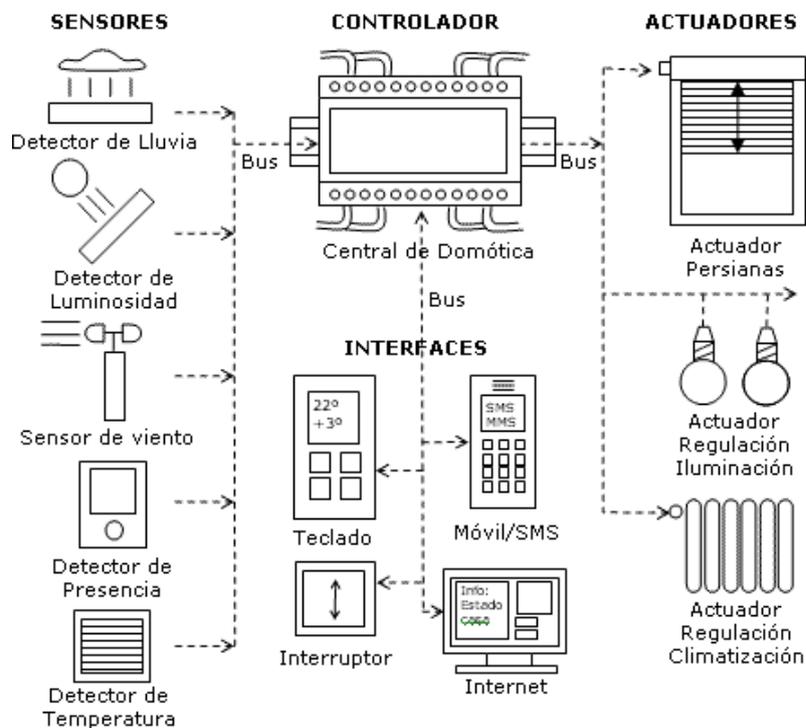


Figura 3: Ejemplo de componentes que forman un sistema domótico.

2.4. Comunicaciones existentes en los sistemas domóticos.

Los sistemas de intercambio de información permiten la comunicación entre equipos, entre equipos y usuarios y entre los propios usuarios. Estos sistemas constituyen las infraestructuras necesarias para el intercambio de voz y datos, permitiendo a los usuarios y equipos disfrutar de servicios y compartir recursos tanto fuera como dentro de la vivienda.

En el entorno residencial se han definido dos tipos de redes de datos: PAN (redes de área personal) y LAN (redes de área local). Sin embargo, en este trabajo se ha optado por el uso de una infraestructura existente en la vivienda para crear la red de área local, que es la red eléctrica doméstica. Esta tecnología se denomina PLC⁸ (*Power Line Communication*), que utiliza los enchufes como tomas de red de área local y opcionalmente comunicación vía radio. Ésta proporciona movilidad total en la vivienda aunque su ancho de banda está limitado proporcionalmente al coste de las mismas.

⁸ Conviene no confundir con el término *Power Line Carrier* que usa el mismo acrónimo (PLC) y se refiere a la transmisión de señales mediante corrientes portadoras sobre la red eléctrica doméstica. Es el medio de transmisión que usa la tecnología X10 para la comunicación entre módulos.

3. Objetivos

3.1. Justificación.

Inicialmente, los sistemas domóticos estaban formados por grupos de sensores y actuadores gobernados de forma centralizada mediante un controlador que almacenaba toda la inteligencia necesaria para su correcto funcionamiento. Estos sistemas eran poco flexibles y con unas capacidades de crecimiento y evolución limitadas.

En la actualidad, gracias al desarrollo de la electrónica los dispositivos han adquirido un mayor grado de autonomía. Con esto y con la aparición de diversas tecnologías y estándares, como Bluetooth, Wi-Fi, GSM y Ethernet entre otros, se logra mayor flexibilidad, modularidad y conectividad.

Sin embargo, no existe un sistema domótico que sea óptimo para todas las situaciones. Cada sistema tiene sus ventajas e inconvenientes y es necesario estudiar cuáles son los más adecuados para realizar determinadas tareas. Esto justifica la necesidad de interconectar los distintos sistemas existentes.

Se ha investigado sobre las distintas pasarelas de comunicación que pudieran tener esta finalidad. Entre ellas se encuentran la "Pasarela GPRS-Bluetooth/X10" [9] desarrollada por la *Cátedra de Telefónica Móviles* (2005) y la llamada "Pasarela IP-X10" [3]. El inconveniente de ambas es que utilizan módulos comerciales con las limitaciones que esto supone.

Por su parte, el Departamento de Tecnología Electrónica de la URJC [10] ha desarrollado aplicaciones en las que ha sido necesario el diseño de pasarelas que permitan comunicar dispositivos inalámbricos (Bluetooth y GSM) con el sistema X10, utilizando para todo ello módulos comerciales. Esta experiencia

previa ha motivado la elección de dicho departamento para la realización del presente trabajo.

En este trabajo se desarrolla íntegramente un sistema sencillo, inteligente y modular que integra tecnologías de corto alcance y tecnologías a larga distancia, adaptable a distintas situaciones y sistemas. Así mismo se aplican los conceptos adquiridos en el Máster sobre las comunicaciones inalámbricas y los sistemas móviles.

Finalmente, señalar que parte del estímulo personal proviene de haber estado trabajando previamente con el citado departamento en un proyecto para una empresa privada, desarrollando módulos X10 bidireccionales para el control y ahorro de consumo eléctrico.

3.2. Objetivos generales y específicos.

El objetivo de este trabajo es la realización de una pasarela modular e inteligente para el control de dispositivos domóticos en el hogar, de manera local y remota, utilizando tecnologías inalámbricas. Además, se requiere que este sistema sea compatible con los dispositivos presentes en el mercado.

Concretamente se pretende desarrollar un hardware y un software modular que permita controlar un sistema domótico, basado en X10, de manera remota mediante dispositivos inalámbricos (Bluetooth y GSM). El diseño modular debería permitir desarrollar aplicaciones a medida, eliminando las restricciones y la falta de flexibilidad de los módulos comerciales. El sistema a desarrollar debería ser compatible con los dispositivos comerciales X10, para conseguir una pasarela abierta e independiente.

4. Materiales y métodos

En este capítulo se explica la planificación del trabajo en este proyecto y los entornos de desarrollo empleados para su realización. Además se resaltan brevemente las tecnologías que intervienen en el sistema.

4.1. Metodología de desarrollo.

Esta sección se ha dividido del siguiente modo: metodología general de diseño, herramientas necesarias para el desarrollo del sistema y planificación real del proyecto.

4.1.1. Metodología general de diseño.

Un buen diseño de sistema es aquel que puede resolver un problema particular de la manera más apropiada y eficiente. Para lograr esto, se requiere no solo un buen entendimiento del problema sino también un gran conocimiento de las tecnologías y técnicas disponibles.

Por lo tanto, la metodología llevada a cabo para el diseño de un nuevo sistema debe estar compuesta por los siguientes pasos: determinar los objetivos del proyecto; establecer una especificación de alto nivel; conseguir un diseño de alto nivel con esas especificaciones y a partir de este diseño dividirlo en bloques o módulos y desarrollarlo; realizar una serie de pruebas a cada módulo que compone el sistema y, por último, comprobar el funcionamiento del sistema completo [11].

Los objetivos del proyecto representan el problema que el sistema tiene que resolver, de modo que están expresados en términos del problema y no de la solución. Teniendo en cuenta esto, las especificaciones de más alto nivel a entregar como objetivo del proyecto deben lograr definir un sistema que

presente una solución al problema planteado. La especificación define qué hay que hacer y no cómo hay que hacerlo. Ocasionalmente estas especificaciones deben ser modificadas durante el proyecto al aparecer nueva información.

Siguiendo los pasos para una correcta metodología, una de las primeras decisiones que se deben tomar a la hora de diseñar el sistema es la elección de las tecnologías que van a intervenir. Además, en los sistemas con dispositivos programables, como microcontroladores o microprocesadores, es necesario decidir qué funciones se van a realizar por el hardware y cuales por el software. El resultado de esta etapa es un diagrama de bloques formado por la descripción del sistema y una especificación hardware y software de cada bloque.

Una vez completado el diseño del sistema, cada módulo debe ser desarrollado y probado para asegurar su funcionalidad acorde con los requisitos.

Finalmente, cuando cada módulo ha sido probado y corregido si fuera el caso, se deben realizar pruebas exhaustivas de integración del sistema completo.

Para llevar a cabo todos estos pasos es necesaria la utilización de una serie de herramientas que ayuden a simplificar, en la medida de lo posible, este trabajo. Por este motivo en el punto siguiente se exponen brevemente dichas herramientas para el diseño de sistemas.

4.1.2. Herramientas necesarias para el diseño de sistemas.

El proceso habitual que se sigue para completar correctamente el diseño de un sistema, utilizando el software y los instrumentos que se consideren adecuados, es:

Proceso	Herramienta
a) Cálculo y diseño de los circuitos. b) Captura de esquemáticos. c) Simulación de circuitos.	OrCAD Pspice
d) Diseño del circuito impreso o PCB (<i>Printed Circuit Board</i>).	Altium y Microfresadora
e) Diseño y programación software. f) Desarrollo del software teniendo en cuenta el hardware. Fabricación y pruebas funcionales.	PIC-C Compiler y J2ME de Eclipse
g) Verificación del diseño.	Osciloscopio y fuente de alimentación para hardware. Eltima SW para software.
h) Documentación del sistema.	Microsoft Office Word 2007

Tabla 5: Proceso y herramientas para completar el diseño del sistema.

Este proceso genérico debe adaptarse a cada caso particular, es decir, a la funcionalidad que quiere desarrollar.

4.1.3. Planificación real del proyecto.

La planificación llevada a cabo para la realización de este trabajo se apoya en el Modelo de Desarrollo en Espiral [12]. Este modelo consiste en dividir el desarrollo del sistema final en varias tareas secundarias más sencillas. Con este modelo se consigue una gran flexibilidad ante los posibles cambios que puedan aparecer a lo largo del proceso. Cada tarea secundaria se divide en las etapas siguientes: análisis de requisitos, diseño, implementación y pruebas. Estas tareas se realizan secuencialmente o simultáneamente, según su naturaleza, y a medida que se van finalizando se van integrando con las anteriores.

Para el desarrollo de este trabajo se han completado los siguientes ciclos o tareas secundarias:

- a) Lectura y aprendizaje.
 - a. Documentación sobre el sistema X10.
 - b. Documentación del hardware y software del sistema de Bluetooth desarrollado por el Departamento de Tecnología Electrónica (DTE).
- b) Desarrollo del interfaz hardware y software Bluetooth-X10.
 - a. Diagrama de bloques del módulo Bluetooth-X10.
 - b. Implementación hardware del prototipo del módulo Bluetooth-X10.
 - c. Descripción del hardware y software del módulo Bluetooth-X10.
- c) Desarrollo del sistema de comunicación entre módulos Bluetooth-X10 y el controlador (teléfono móvil con Bluetooth).
 - a. Diagrama de bloques del sistema.
 - b. Implementación hardware y software del prototipo del sistema.
 - c. Documentación del hardware y software del sistema.
- d) Desarrollo del sistema de comunicación entre módulos GSM-X10 y el controlador (teléfono móvil con tecnología GSM).
 - a. Diagrama de bloques del sistema comunicación GSM-X10.
 - b. Implementación hardware software del prototipo del sistema.
 - c. Documentación del hardware y software del sistema.

Cada una de estas tareas se ha realizado por fases. Partes de las tareas *b*) y *c*) se deben realizar simultáneamente.

- **Pasarela Bluetooth-X10.**

- **Fase 1:** Definición del hardware de comunicación del módulo X10. Desarrollo del hardware del mismo y la comunicación del módulo X10 con un PC mediante conexión RS-232.

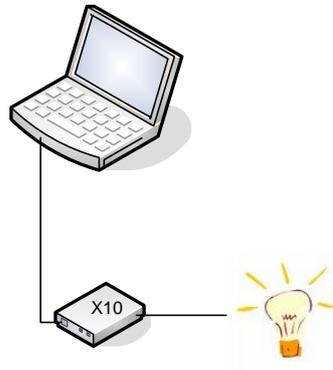


Figura 4: Fase 1. Comunicación del sistema X10 con el PC.

- **Fase 2:** Definición del hardware del sistema Bluetooth-X10. Desarrollo del hardware del mismo a partir de los diseños propios del Departamento de Tecnología Electrónica.

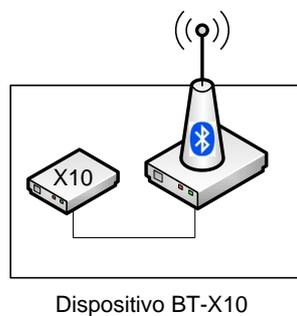


Figura 5: Fase 2. Sistema Bluetooth-X10.

- **Fase 3:** Desarrollo de las comunicaciones internas del sistema entre el módulo Bluetooth y el módulo X10. Determinación del hardware de comunicación para aislar los módulos manteniendo una correcta comunicación.

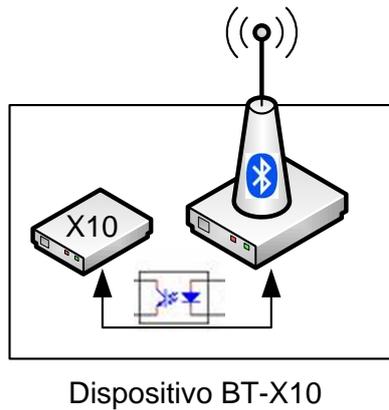


Figura 6: Fase 3. Sistema Bluetooth-X10 con hardware de aislamiento.

- **Fase 4:** Desarrollo de las comunicaciones entre el sistema Bluetooth-X10 y un teléfono móvil vía Bluetooth.

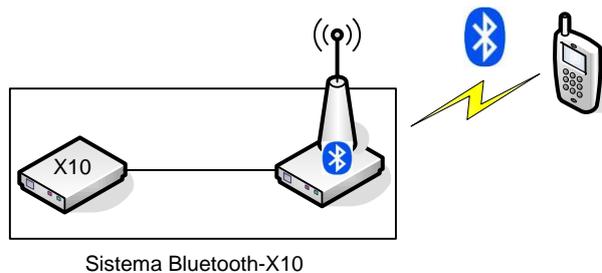


Figura 7: Fase 4. Sistema completo Bluetooth-X10.

- **Pasarela GSM-X10.**

- **Fase 1:** Diagrama de bloques y esquema interno del sistema GSM-X10. Definición y desarrollo del hardware del mismo a partir de los diseños propios del Departamento y de un módem comercial GSM.

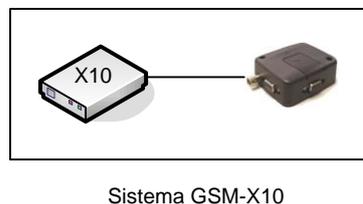


Figura 8: Fase 1. Sistema GSM-X10.

- **Fase 2:** Desarrollo de las comunicaciones internas del sistema entre el módem GSM y el dispositivo X10.

- **Fase 3:** Desarrollo de las comunicaciones entre el módulo X10, un teléfono móvil vía GSM y el módem GSM (MTX65) que permitirá recibir peticiones mediante mensajes de texto (SMS).

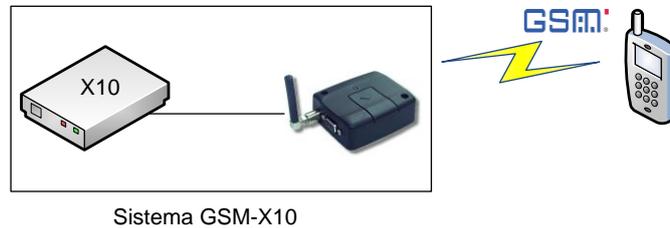


Figura 9: Fase 2. Sistema completo GSM-X10.

- **Pasarela completa.**

Para resumir, el diagrama de comunicaciones completo de la pasarela modular entre los dispositivos y el módulo X10 es el siguiente:

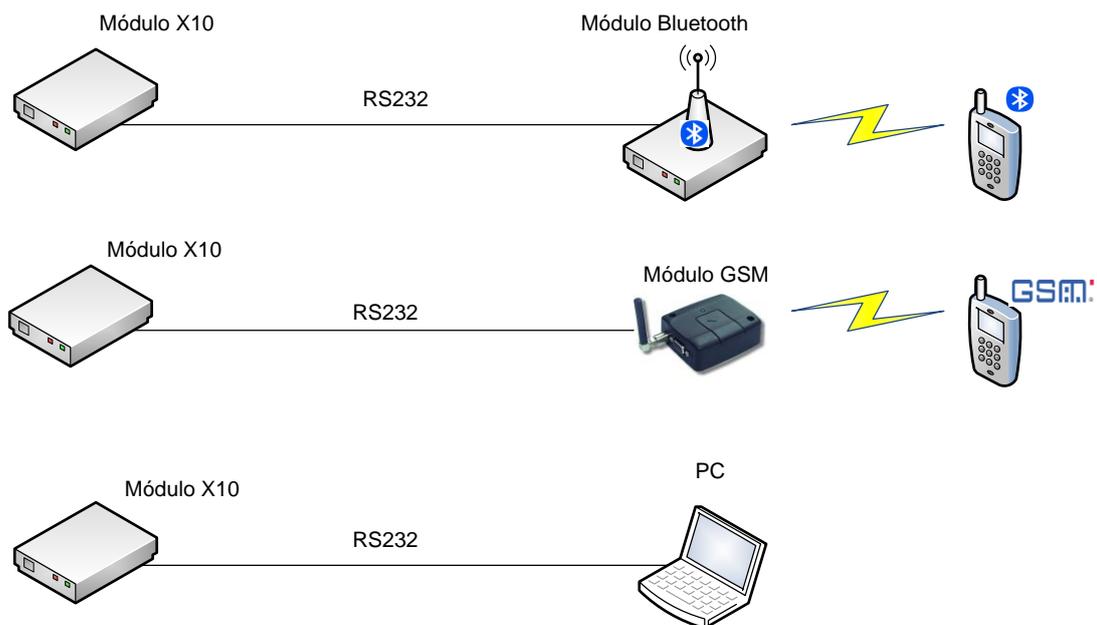


Figura 10: Sistema completo de comunicaciones. Los módulos X10 están representados por los elementos marcados con 'Módulo X10'. El módulo Bluetooth viene indicado en la figura como tal, al igual que el módulo GSM y el PC. El módulo X10 sólo puede estar conectado a un único módulo o al PC. La figura representa todas las opciones.

4.2. Materiales empleados.

Una vez conocida la planificación llevada a cabo en este trabajo, en este apartado se describen los entornos de desarrollo utilizados para el diseño del hardware y el software, los entornos para la simulación hardware y software y

los emuladores software. Por otro lado se explican brevemente las tecnologías utilizadas.

4.2.1. Entornos de desarrollo.

Siguiendo los pasos de la metodología, para el diseño del hardware se han empleado los entornos de desarrollo OrCAD Pspice [13] y Altium [14]. El primero se ha utilizado para el diseño y simulación de circuitos del módulo X10. De esta manera se comprueba el comportamiento teórico de los distintos bloques que componen el sistema. El segundo, Altium, se ha empleado para el diseño de circuitos impresos (PCBs o *Printed Circuit Board*) del proyecto, tanto del módulo de X10 como del módulo Bluetooth.

Para la elaboración del software se han utilizado dos entornos distintos, uno por cada lenguaje de programación. El software de los microcontroladores se ha escrito en el lenguaje de programación C, utilizando un entorno específico conocido como PIC-C Compiler [15]. Inicialmente, los desarrolladores empleaban Ensamblador como lenguaje de programación para microcontroladores. Este lenguaje se encuentra mucho más cerca del hardware que del programador, lo que unido al aumento de la capacidad de memoria dentro de los microcontroladores sin aumentar prácticamente su coste, ha dado lugar a la utilización del lenguaje C frente a la de Ensamblador. Esto permite diseñar con un repertorio de instrucciones optimizado y trabajar fácilmente en el desarrollo de programas más complejos.

Para la programación del módem GSM y el interfaz de usuario para los terminales móviles se ha empleado el lenguaje de programación Java, utilizando para los segundos el paquete J2ME de Eclipse [16]. Es necesario utilizar esta versión debido a que los dispositivos móviles tienen una potencia de cálculo baja e interfaces de usuario pobres y otras versiones como J2SE (*Java 2 Platform Standard Edition*) o J2EE (*Java 2 Platform Enterprise Edition*) no pueden adaptarse bien a estas limitaciones.

Finalmente, para grabar el software diseñado en los microcontroladores se ha empleado IC-Prog, para emular los programas destinados para el módulo Bluetooth desde el ordenador se ha utilizado el entorno Eltima Software [17], y para probar el software de un dispositivo móvil se ha empleado el entorno J2ME-WirelessToolkit-2.2 [16].

4.2.2. Tecnologías utilizadas en el proyecto.

En este punto se van a explicar algunos aspectos generales de las tecnologías utilizadas en este trabajo. Dos de ellas se utilizan para establecer la

comunicación entre el usuario y el sistema, esto es, Bluetooth y GSM. La tercera, tecnología X10, se emplea para establecer la conexión y el intercambio de datos entre los distintos elementos de la vivienda a controlar.

No se va a profundizar en la descripción las dos primeras dado que son estándares internacionales, por lo que la explicación se orienta a su finalidad en este trabajo.

Sin embargo, en el caso de la tecnología X10 no se ha encontrado una documentación clara. Por ese motivo y tras la recopilación de información procedente de distintas fuentes, se ha elaborado una documentación teórica previa presentada en el Anexo A.

4.2.2.1. Tecnología Bluetooth.

La especificación Bluetooth [5] define un estándar global de comunicaciones inalámbricas para redes de área personal (*Personal Area Network* ó PAN), recogidas por el grupo de trabajo 802.15.1 del IEEE. Este estándar permite la transmisión de datos y voz entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en entornos de comunicaciones móviles y estáticas.

Esta tecnología establece la comunicación entre dos dispositivos que cumplan con las especificaciones Bluetooth, cualquiera que sea su naturaleza (PDAs, teléfono móvil, ordenador personal, agenda electrónica,...), utilizando un protocolo robusto y seguro. Además, posee un consumo bajo de energía debido a que la implementación final para la que fue diseñado es su incorporación en equipos portátiles, alimentados con baterías [8].

A continuación se muestran algunas características específicas de este tipo de comunicaciones:

- Trabaja en el banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*):
 - Banda de libre utilización.
 - Rango de frecuencias: 2400-2483.4 MHz generalmente, aunque existen excepciones.
 - Casi inmune a interferencias.
- Configuraciones básicas:
 - Punto a punto: comunicación directa entre dispositivos.
 - Punto a multipunto: el canal se comparte por varios dispositivos (estaciones base).
- La potencia de transmisión se divide en tres clases de productos:
 - Clase 1: 100mW / 20dBm, con un rango de aprox. 100m.
 - Clase 2: 2.5mW / 4dBm, con un rango de aprox. 10m.
 - Clase 3: 1mW / 0dBm, con un rango de aprox. 1m.

Teniendo en cuenta todas estas características y las limitaciones que supone utilizar una red de corto alcance, se ha decidido utilizar este estándar para las comunicaciones entre el usuario y el sistema domótico, tanto para la ejecución de tareas como para la monitorización del sistema.

4.2.2.2. Tecnología GSM.

La tecnología GSM (*Global System for Mobile Communications*) nació en 1992 y se considera el estándar de telefonía móvil pública celular en Europa [18]. Desde el punto de vista de las comunicaciones móviles, esta tecnología forma parte de los sistemas de Segunda Generación (2G).

Las características destacadas que diferenciaban en un principio a este estándar del resto son la gran capacidad de tráfico que permite procesar, muy importante para el sistema domótico diseñado, y el uso eficiente del espectro radioeléctrico. Por otro lado, incluye servicios básicos de voz y datos, los sistemas de señalización digital, la amplia variedad de servicios telemáticos, utilización de teléfonos portátiles, altas prestaciones de cobertura, tráfico y señal recibida, conexión con la red RDSI (Red Digital de Servicios Integrados, en inglés ISDN) y seguridad y privacidad en el interfaz radio mediante identificación y encriptación; entre otros aspectos.

Respecto a los tipos de servicio que ofrece el estándar GSM se puede decir que esta tecnología es multi-servicio. Se pueden clasificar éstos en servicios portadores (como la voz), teleservicios (como los SMS) y servicios suplementarios (como la llamada en espera).

4.2.2.3. Tecnología X10.

Uno de los módulos desarrollados utiliza la tecnología del sistema X10 como núcleo de intercambio de información entre los distintos dispositivos dentro del hogar. Los aspectos generales de esta tecnología y los sistemas que la componen, se encuentran detallados en el Anexo A.

La tecnología que emplea el sistema X10 para la comunicación entre módulos está basada en la transmisión de señales mediante corrientes portadoras sobre la red eléctrica doméstica (*Power Line Carrier* ó PLC en su nomenclatura anglosajona⁹). El principio de la transmisión de datos mediante

⁹ Conviene no confundir con el término *Power Line Communications*, que usa el mismo acrónimo, PLC y que se refiere a las comunicaciones por la red eléctrica, como por ejemplo conexión a internet a través de la red eléctrica. En este caso, la comunicación por la red eléctrica sería una aplicación concreta de la tecnología de transmisión de señales por corrientes portadoras.

PLC consiste en superponer una señal portadora de alta frecuencia y niveles bajos de energía a un medio de transmisión que es la tensión de la red eléctrica (baja frecuencia y alta energía) de 230V/50 Hz en Europa o 120V/60Hz en EEUU. La tensión de la red eléctrica se transmite a través de la infraestructura eléctrica del hogar de manera que se puede recibir y decodificar la señal portadora superpuesta a ella remotamente en cualquier punto de dicha red.

Los sistemas X10, al utilizar la red eléctrica doméstica en los hogares como medio portador de información, presentan la ventaja de la facilidad de instalación frente a otros protocolos que necesitan líneas específicas y por tanto, una infraestructura adicional a la existente, con el coste que esto supone. Además, la realización física de estos módulos permite reducir la instalación de los módulos al simple gesto de enchufarlos a una toma de corriente o de sustituir un interruptor convencional por el módulo empotrable adecuado.

Otro aspecto a favor de la tecnología X10 es la flexibilidad dada por la variedad de módulos que existen en el mercado que dan la posibilidad de adaptarse a casi cualquier necesidad y de manera progresiva. Como inconvenientes cabe citar que habitualmente toda la “inteligencia” del sistema se encuentra en un único dispositivo programado, del que depende el correcto funcionamiento de la instalación. Además el sistema es muy sensible a las perturbaciones que puedan existir en la red eléctrica doméstica debidas a las interferencias generadas por los distintos aparatos conectados a la misma.

Por otra parte, se debe evitar que las señales emitidas por un sistema X10 de un hogar se propaguen por la red eléctrica doméstica a una o varias instalaciones vecinas donde pudieran interferir con otro sistema domótico allí instalado. Finalmente, es necesario asegurarse que la señal se transmite a todas las fases de la red eléctrica existente en una instalación.

Un sistema típico basado en X10 consta, por tanto, de un controlador o autómatas central que recibe información de los sensores y conforme a esta información envía señales a unos actuadores. Estos dispositivos se conocen como módulos X10.

Como en cualquier sistema de comunicación existen dos tipos de dispositivos, transmisores y receptores. Estos pueden formar parte de un mismo módulo o ser independientes, es decir, podemos encontrar módulos unidireccionales o bidireccionales.

Otros componentes básicos son los filtros y los elementos de acoplamiento entre fases. Existen dos tipos de filtros, unos para aislar los aparatos que puedan interferir en las comunicaciones entre módulos de X10, típicamente

cualquier aparato que tenga una fuente de alimentación conmutada que esté conectado a la red eléctrica, y otros para evitar que las señales se propaguen más allá de la propia instalación eléctrica e interfiera con las colindantes. Los elementos de acoplo entre las distintas fases de la instalación eléctrica sirven para permitir que las señales se trasmitan por todas ellas.

5. Implementación

En este capítulo se describe el diseño hardware y el software de los dispositivos realizados y su integración. Se describe detalladamente la arquitectura del sistema, el hardware de cada uno de los módulos que lo componen y el software de comunicación.

5.1. Arquitectura del sistema.

La arquitectura del sistema describe las interconexiones entre los distintos módulos que lo forman y el protocolo de comunicación establecido.

5.1.1. Detalles de conexión.

Las interconexiones entre los distintos módulos desarrollados se realizan vía serie RS232, utilizando para ello conectores serie DB9.

El diagrama de conexión del módulo X10 con el resto de módulos o con el ordenador personal se muestra en la Figura 11. Esta figura se corresponde con la Figura 10 del capítulo 4 de *Metodología y Materiales*, repetida aquí para facilitar la lectura.

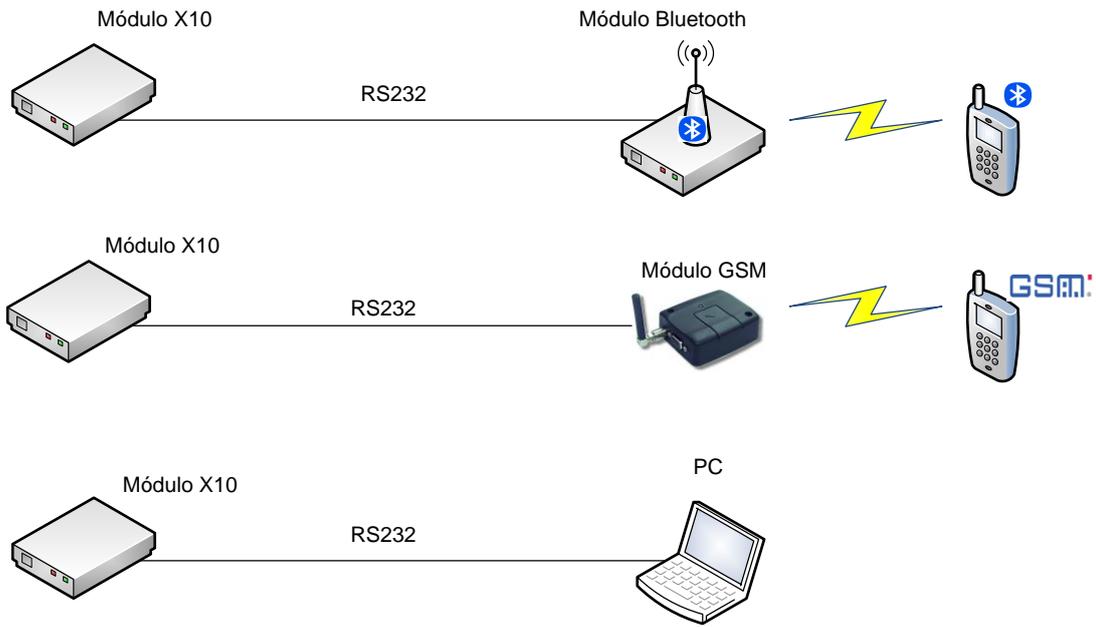


Figura 11: Sistema completo de comunicación.

- Conexión módulo X10 - módulo Bluetooth: se realiza una conexión serie RS232 entre el módulo X10, marcado mediante un círculo amarillo en la Figura 12, y uno de los dos puertos serie RS232 existentes en el módulo Bluetooth, marcado mediante un círculo azul en la misma figura. Se utiliza un cable serie cruzado para la adecuada correspondencia entre las señales de transmisión y de recepción de ambos módulos.

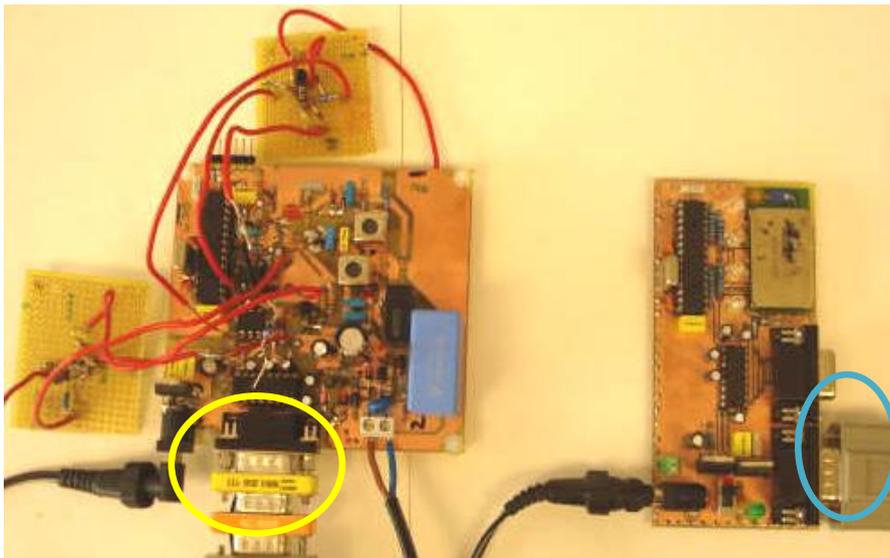


Figura 12: Conexión entre módulos Bluetooth (derecha) y X10 (izquierda). Prototipo real. El círculo amarillo muestra el conector RS232 del módulo X10 con el adaptador cruzado. El círculo azul muestra el conector RS232 del módulo Bluetooth.

- **Conexión módulo X10-módulo GSM:** se realiza una conexión serie RS232 entre el módulo X10, marcado mediante un círculo amarillo en la Figura 13, y el puerto serie RS232 existente en el módulo GSM, marcado mediante un círculo rojo en la misma figura. Se utiliza un cable serie cruzado para la adecuada correspondencia entre las señales de transmisión y de recepción de ambos módulos.

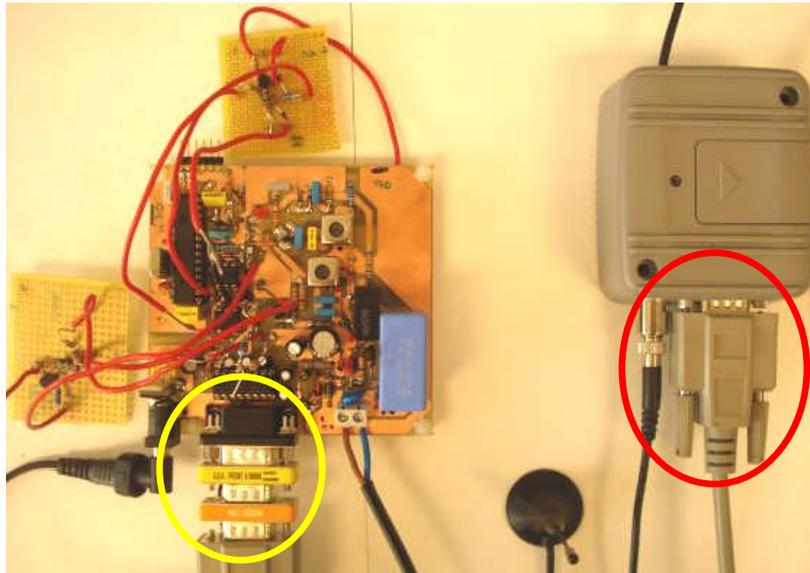


Figura 13: Conexión entre módulo X10 y módem GSM. Prototipo real. El círculo amarillo muestra el conector serie del módulo X10 con el adaptador cruzado. El círculo rojo indica el puerto serie del módulo GSM con un cable serie conectado.

- **Conexión módulo X10-ordenador personal:** Se realiza una conexión serie RS232 entre el módulo X10 y el puerto serie RS232 del ordenador personal. Para ello se utiliza un cable serie sin cruzar con el que se consigue la adecuada correspondencia entre las señales de transmisión y de recepción del módulo y el ordenador.

A continuación se describen las conexiones internas de los módulos X10 y Bluetooth.

- Módulo X10.

La Figura 14 representa el diagrama de bloques del módulo X10 y sus conexiones. El principal bloque es el microcontrolador, en este caso se ha elegido PIC16F876, que envía los comandos al bloque circuito de transmisión, recibe los datos monitorizados de la red por el bloque circuito de recepción, y gestiona las comunicaciones serie RS232 con otros módulos a través del bloque circuito de comunicación. El circuito de transmisión y el de recepción se

encargan de adaptar los niveles lógicos de las señales del microcontrolador a los niveles de X10 y viceversa.

Es necesario aislar las señales que provienen de la comunicación serie, con tensiones de continua de hasta $\pm 15V$, del resto del módulo que está conectado a una tensión alterna de red eléctrica de 230V/50Hz. Por tanto, el módulo necesita dos alimentaciones distintas, una para la circuitería que genera las señales de X10, que proviene de la propia red eléctrica, y otra para la circuitería de comunicaciones. Esta alimentación puede provenir de una fuente de continua aislada, de una batería o, en función del dispositivo conectado, de las propias señales de comunicación. En este último caso se rectifican las señales RTS y DTR presentes en el conector RS232 y que no se emplean en el módulo, para generar una tensión de continua. El inconveniente de esta solución es que no todos los posibles dispositivos conectables al puerto serie tienen capacidad para suministrar la energía necesaria para alimentarlo.

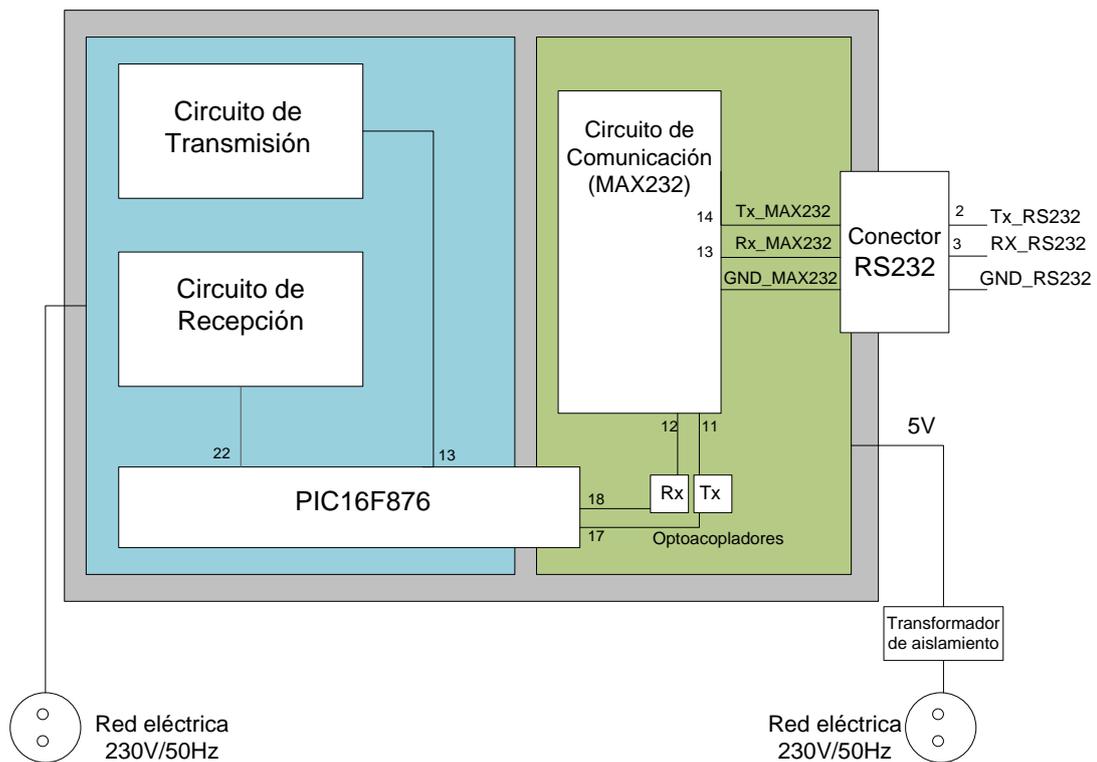


Figura 14: Diagrama de bloques del módulo X10. Sobre fondo azul la circuitería alimentada a la tensión de red de 230V/50Hz. Sobre fondo verde la circuitería alimentada con una tensión de continua aislada. El aislamiento eléctrico entre el microcontrolador (PIC16F876) y el circuito de adaptación de señales MAX232, se realiza a través de optoacopladores.

En la Tabla 6 se muestra la disposición de las pines del microcontrolador, el circuito integrado de adaptación de señales a niveles de tensión de la comunicación RS232 (MAX-232¹⁰) y el conector serie.

SEÑAL	PIC-X10	PIC-MAX232	MAX232-PIC	MAX232-RS232
Transmisión	PIN 13	PIN 17	PIN 12	PIN 14
Recepción	PIN 22	PIN 18	PIN 11	PIN 13

Tabla 6: Conexiones internas del módulo X10. Pines de transmisión y recepción entre los distintos bloques que lo componen.

- Módulo Bluetooth.

La Figura 15 representa el diagrama de bloques del módulo Bluetooth y sus conexiones. El bloque circuito de comunicaciones Bluetooth se comunica con cualquier terminal de usuario Bluetooth y con cualquier dispositivo conectado al puerto serie hardware (HW), a través del bloque circuito de comunicación serie (MAX232).

El microcontrolador PIC16F876 [20] tiene un puerto serie hardware (USART), y además, para ampliar la funcionalidad se ha añadido un puerto serie software. Con el circuito de comunicación Bluetooth se comunica a través del puerto hardware, y el puerto serie software se utiliza para gestionar las comunicaciones con el módulo X10.

La alimentación puede provenir de una fuente de continua aislada o de una batería.

¹⁰ El MAX232 [19] es un circuito integrado que convierte los niveles de las líneas de un puerto serie RS232 a niveles TTL y viceversa. Lo interesante de es que sólo necesita una alimentación de 5V, ya que genera internamente algunas tensiones que son necesarias para el estándar RS232.

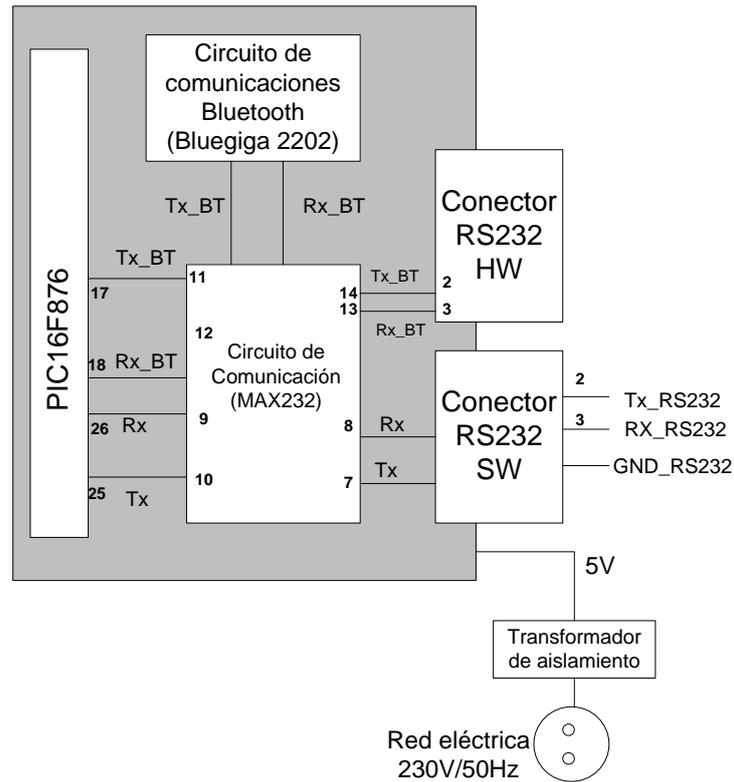


Figura 15: Diagrama de bloques del módulo Bluetooth. La circuitería alimentada con una tensión de continua aislada. El circuito de comunicaciones Bluetooth se conecta al microcontrolador mediante el MAX232 y el puerto hardware (HW). El puerto software (SW) permite la comunicación con el módulo X10.

En la Tabla 7 se muestra la disposición de los pines del microcontrolador (PIC16F876), el circuito integrado de adaptación de señales a niveles de tensión de la comunicación RS232 (MAX-232) y de los dos conectores serie.

SEÑAL	PIC	MAX232-PIC	MAX232-RS232
Transmisión HW	PIN 17	PIN 12	PIN 14
Recepción HW	PIN 18	PIN 11	PIN 13
Transmisión SW	PIN 25	PIN 9	PIN 7
Recepción SW	PIN 26	PIN 10	PIN 8

Tabla 7: Conexiones internas del módulo Bluetooth. Pines de transmisión y recepción entre los distintos bloques que lo componen.

5.1.2. Protocolo de comunicación.

Existen tres elementos que se deben comunicar entre sí en el sistema. El primero es el terminal del usuario desde el cual se envían comandos para que los ejecute el sistema o a través del cual recibe información del mismo. El segundo elemento es cualquiera de los dos módulos (Bluetooth ó GSM) que

hacen de interfaz inalámbrico entre el terminal de usuario y el módulo de X10. El tercer elemento es el módulo X10, que envía y recibe datos por la red eléctrica de otros módulos X10. Para la transmisión de datos entre los distintos elementos del sistema deben definirse unos protocolos de comunicación.

5.1.2.1. Protocolo de transmisión de datos a la red eléctrica.

La red de comunicaciones establecida entre los distintos módulos es una red maestro-esclavo bidireccional mediante tramas de datos. El nodo maestro puede ser el módulo GSM, el módulo Bluetooth o el ordenador personal. Este nodo envía una trama de datos al nodo esclavo, módulo X10, y éste responde con su correspondiente trama de datos.

En el Diagrama 1 se detalla el protocolo de envío de tramas de datos desde el módulo Bluetooth (nodo maestro) al módulo X10 (nodo esclavo) mediante comunicación serie y la respuesta de éste.

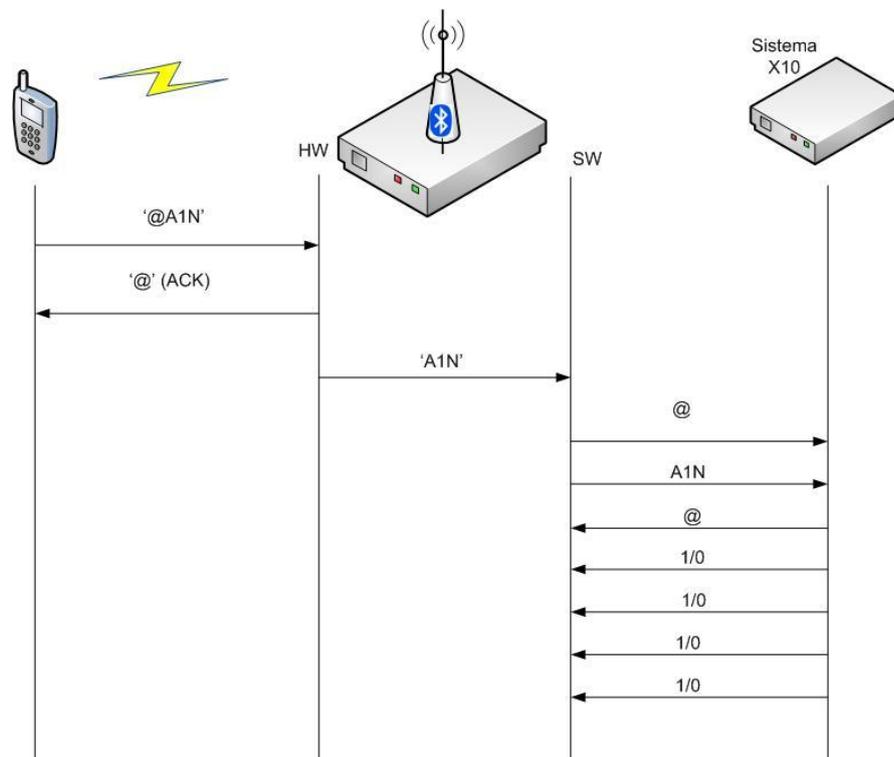


Diagrama 1: Transferencia de datos desde Bluetooth a X10. Orden de intercambio de información entre el terminal de usuario, el módulo Bluetooth y el sistema X10 para la ejecución de funciones.

En el Diagrama 2 se detalla el protocolo de envío de tramas desde el módulo GSM (nodo maestro) al módulo X10 (nodo esclavo) mediante una comunicación serie. Este protocolo varía ligeramente respecto del anterior dado que no se utiliza una cabecera en la trama de datos, cuyo formato es '@', desde el terminal de usuario y el módulo GSM.

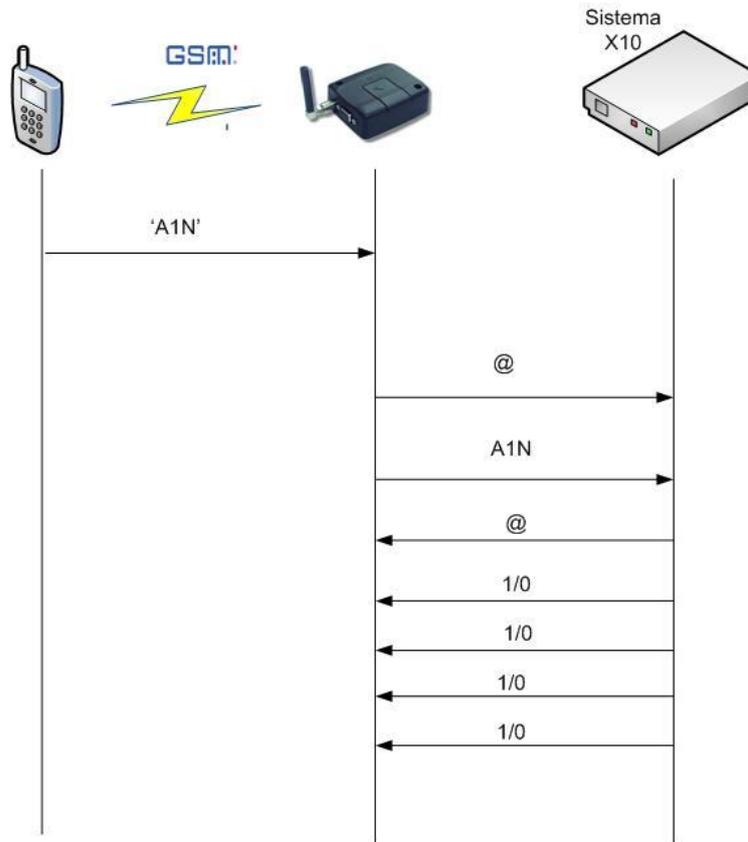


Diagrama 2: Transferencia de datos desde GSM a X10. Orden de intercambio de información entre el terminal de usuario, el módulo GSM y el sistema X10 para la ejecución de funciones.

La comunicación entre los módulos X10 se realiza por la red eléctrica doméstica y sigue el estándar X10, definido en el Anexo A.

5.1.2.2. Protocolo de transmisión de datos desde la red eléctrica al módulo X10.

El módulo X10 está permanentemente monitorizando la red eléctrica doméstica y leyendo las tramas de datos que circulan por la misma. Es a petición del nodo maestro (módulo Bluetooth o GSM) cuando estas tramas se envían desde el módulo X10 al módulo maestro. La comunicación se inicia mediante una trama de petición de información enviada desde un terminal de usuario mediante mensaje de texto o una conexión Bluetooth. El terminal de usuario espera a recibir la información leída por el módulo X10 de la red eléctrica doméstica para interpretarla.

En los Diagramas 3 y 4 se detalla el protocolo de monitorización de las tramas que circulan por la red eléctrica.

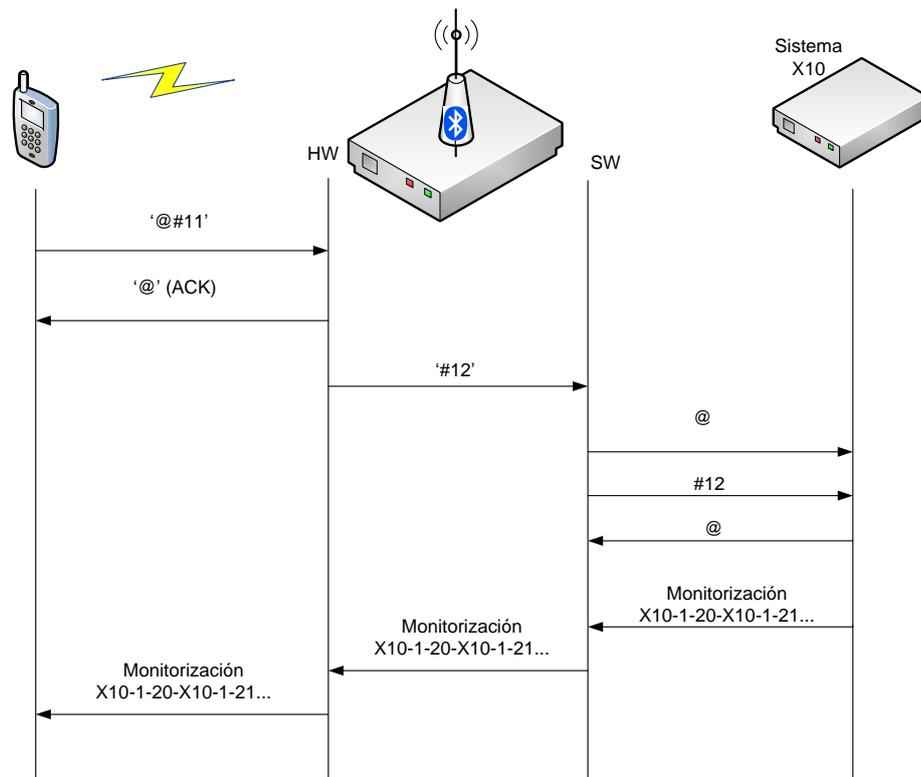


Diagrama 3: Transferencia de datos desde la red eléctrica doméstica al terminal de usuario con Bluetooth. Orden de intercambio de información de monitorización entre el Sistema X10, el módulo Bluetooth y el terminal de usuario.

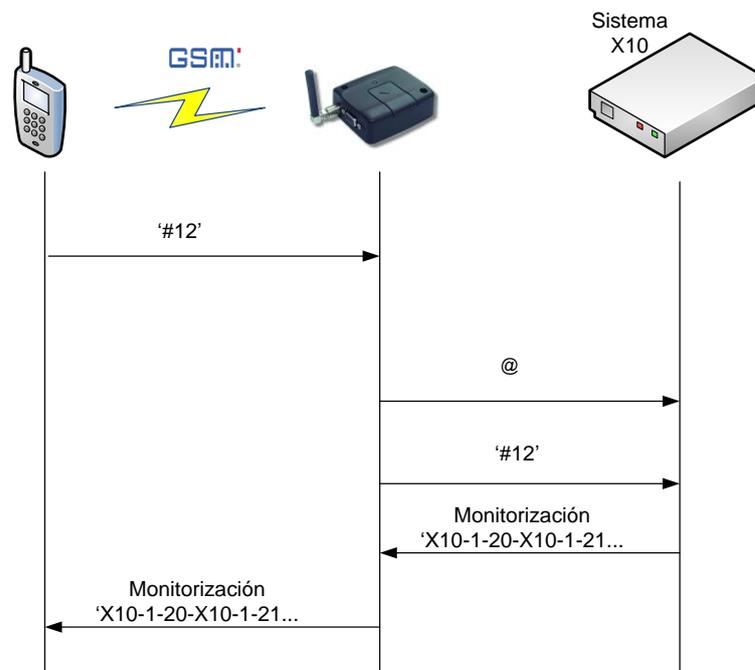


Diagrama 4: Transferencia de datos desde la red eléctrica doméstica y el terminal de usuario con GSM. Orden de intercambio de información de monitorización entre el Sistema X10, el módulo GSM y el terminal de usuario.

5.1.2.3. Configuración de la comunicación serie RS232.

Para que exista una correcta comunicación entre los distintos módulos se deben configurar los parámetros propios del protocolo de comunicación serie RS232. En este caso son: la velocidad de transmisión de datos, la longitud de los bytes transmitidos, el número de bits de parada y la existencia o no de bit de paridad. En la Tabla 8 se muestra cada uno de ellos para cada módulo.

Tipo de módulo	Velocidad	Longitud del byte	Bits de parada	Paridad
Módulo X10	2400 baudios	8bits	1bit	No
Módulo Bluetooth: Puerto SW	2400 baudios	8bits	1bit	No
Módulo Bluetooth: Puerto HW	9600 baudios	8bits	1bit	No
Módulo GSM	2400 baudios	8bits	1bit	No
Puerto serie del ordenador personal	2400 baudios	8bits	1bit	No

Tabla 8: Configuración de la comunicación serie RS232.

5.1.2.4. Formato de tramas.

La trama de datos que el nodo maestro debe enviar al nodo esclavo está compuesta por una cabecera o comienzo de trama, que es un carácter especial ('@'), seguida de dos caracteres de direccionamiento y, por último, una letra que determina la instrucción a ejecutar. Los dos caracteres de direccionamiento son una letra y un número que codifican unívocamente a cuál de los módulos X10 presentes en la red eléctrica se envía el mensaje. Los caracteres se envían en su representación binaria en código ASCII.

Según el protocolo de X10, la letra de direccionamiento representa el denominado "código de casa", el número de direccionamiento representa el denominado "código numérico o de aparato" y la letra de instrucción representa el denominado "código de función" (Figura 16).

Cabecera	Código de casa	Código numérico	Código de función
@	A	1	N

Figura 16: Trama de datos enviada al módulo X10. Función de ejecución.

En el caso de desear monitorizar las tramas de la red eléctrica, tras la cabecera se manda un código de monitorización ('#'), que indica la petición de

recibir en el terminal del usuario la información proveniente de la red eléctrica (Figura 17). Se añaden dos caracteres se emplean para completar la trama de datos, pero no aportan ninguna información importante para la monitorización.

Cabecera	Código numérico	Código complementario	
@	#	1	2

Figura 17: Trama de datos enviada al módulo X10. Monitorización.

La Tabla 9 muestra la letra asignada a cada instrucción (código de función), según el estándar X10. Una explicación más detallada de los códigos del protocolo X10 se encuentra en el Anexo A.

Código X10	Función	Código asignado
17	ALL_UNITS_OFF	A
18	ALL_LIGHTS_ON	L
19	ON	N
20	OFF	F
21	DIM	D
22	BRIGHT	B
23	ALL_LIGHTS_OFF	Y
24	EXTENDED_CODE_1	E
25	HAIL_REQUEST	R
26	HAIL_ACK	K
27	EXTENDED_CODE_3	X
28	UNUSED	U
29	EXTENDED_CODE_2	C
30	STATUS_ON	S
31	STATUS_OFF	T
32	STATUS_REQUEST	Q

Tabla 9: Asignación de comandos al código de función. Una explicación más detallada de los códigos del protocolo X10 se encuentra en el Anexo A.

5.2. Hardware de los módulos del sistema.

En los siguientes apartados se explican los circuitos de que consta cada módulo. En primer lugar se explica el módulo bidireccional X10, en segundo lugar el módulo Bluetooth y finalmente se incluye una explicación breve del módulo GSM, basado en el módem comercial GSM MTX-65.

5.2.1. Módulo X10.

El módulo X10 consta de los siguientes bloques: la fuente de alimentación, la circuitería de recepción y transmisión de datos, el microcontrolador (PIC16F876) y la circuitería de comunicación y aislamiento entre este módulo y el módulo Bluetooth o el módulo GSM.

En el diseño, además, se ha añadido la funcionalidad de programar el microcontrolador en el propio módulo, eliminando la necesidad de un programador externo y minimizando los tiempos de desarrollo. Esto ha sido implementado pero no probado, por tanto, la mejora de esta funcionalidad y la generalización a todos los módulos es una propuesta para futuros trabajos.

El sistema X10 se basa en la transmisión de señales mediante corrientes portadoras por la red eléctrica. Los módulos se alimentan directamente de la red eléctrica mediante una fuente de alimentación que transforma los 230V/50Hz en tensiones continuas de 5V y 20V, aptas para la circuitería del módulo.

El bloque transmisor es el encargado de enviar las órdenes generadas por el microcontrolador a la red eléctrica, en el formato X10. Además, proporciona una señal de detección de paso por cero de la tensión de la red eléctrica doméstica, empleada para sincronizar la transmisión de datos con dicha tensión, de acuerdo al protocolo de X10. El receptor, por su parte, lee los datos procedentes de la red eléctrica y los adapta para que puedan ser interpretados por el microcontrolador.

Por último, la función de los optoacopladores, el circuito integrado MAX232 y el conector tipo DB9 es la de establecer la conexión vía serie RS232 con los módulos de comunicaciones, proporcionando además el aislamiento eléctrico necesario.

El primer prototipo real del módulo X10 que se va a explicar en esta sección se muestra en la Figura 18, en la que se señalan los distintos bloques en que se divide el módulo X10. La parte encuadrada en rojo indica el microcontrolador, en blanco la transmisión X10, en amarillo la recepción, en azul la fuente de alimentación y los bloques en verde el circuito de comunicación y aislamiento.

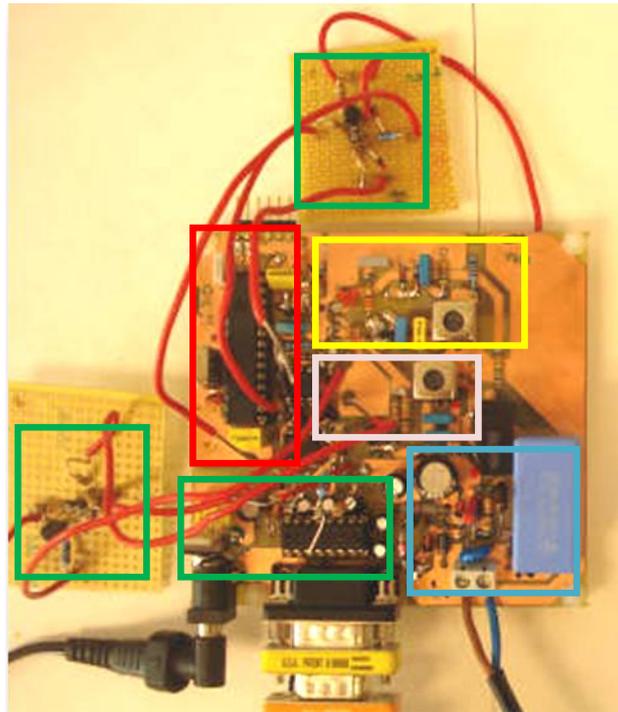


Figura 18: Prototipo del Módulo X10. El rectángulo rojo muestra el microcontrolador (PIC16F876). Los rectángulos verdes muestran los circuitos de comunicación y aislamiento. El rectángulo azul la fuente de alimentación. El cuadro blanco engloba a la transmisión y el amarillo la recepción.

El esquema eléctrico del circuito completo del módulo X10 se encuentra en el Anexo B. A continuación se explica detalladamente cada uno de los bloques que lo forman.

5.2.1.1. Fuente de alimentación.

A partir de la señal de 230V/50Hz proporcionada por la red eléctrica se obtienen unas tensiones de 20V y 5V referenciadas cada una a un punto, denominados GND20 y GND5 respectivamente, empleadas para alimentar el resto del circuito.

La Figura 19 muestra el circuito de la fuente de alimentación del módulo X10, que corresponde con el bloque encuadrado en azul de la Figura 18.

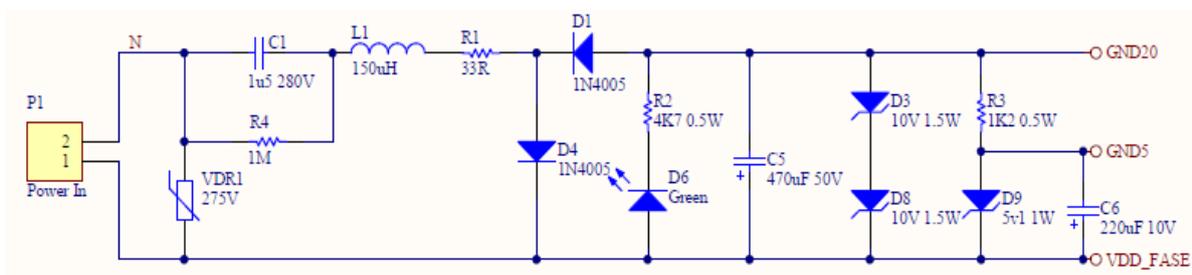


Figura 19: Fuente de alimentación del módulo X10. A partir de los 230V/50Hz de red se obtienen unas tensiones de 20V y 5V.

En el conector P1 entra la red eléctrica, considerando el hilo N (pin2) como el hilo neutro de la tensión de red. La fuente de alimentación es un rectificador de media onda formada por D1, D3, D4, D8 y C5.

El varistor VDR1 (también conocido como MOV) a la entrada de la fuente de alimentación se emplea como protección contra sobretensiones. Los MOV generalmente protegen el resto del circuito ante transitorios recortando el exceso de tensión que pueda llegar a sus extremos.

El condensador C1 limita la corriente que circula por la fuente hasta un máximo teórico de 100mA. El conjunto R4, L1 y R1 hacen la función de filtro para atenuar las interferencias electromagnéticas (EMI) de alta frecuencia que pueda generar el circuito a la red, y para proteger al circuito de posibles perturbaciones procedentes de la red.

En los semiciclos de onda positivos, la corriente, limitada por C1, circula a través de D1, D3 y D8. Los dos diodos zéner en serie (D3 y D8) fijan la tensión de alimentación de 20V respecto de GND20, y el condensador C5 se carga hasta dicha tensión. En los semiciclos negativos, la corriente limitada por C1 circula libremente por el diodo D4 mientras que D1 permanece bloqueado impidiendo que C5 se descargue.

El conjunto D9, C6 y R3, en paralelo con C5 fijan una tensión de 5V respecto de GND5. D6 y R2 son un conjunto diodo LED y resistencia para indicar la presencia de tensión.

En la siguiente captura de osciloscopio se muestra la tensión de la fuente de alimentación durante el transitorio de arranque o conexión. El canal 1 (CH1) representa la tensión de 20V respecto de GND20, y el canal 2 (CH2) representa la diferencia de tensión entre GND5 y GND20, que es de 15V. El tiempo que tarda en estabilizarse la tensión de salida (VDD_FASE) es de aproximadamente 200ms, correspondiente al tiempo de carga del condensador C5.



Figura 20: Tensiones de la fuente de alimentación. El canal 1 (CH1) en amarillo muestra la evolución de la tensión de 5V. El canal 2 (CH2) en verde muestra la evolución de la tensión de 20V. Escala horizontal 5V/div. Escala vertical 200ms/div.

En la Figura 20 se observa el comportamiento del condensador C5 de la fuente de alimentación que consigue cargarse en 200ms ofreciendo al circuito unas tensiones de 5V (CH1) y de 20V (CH2).

5.2.1.2. Recepción.

La comunicación a través de la red eléctrica se realiza mediante la superposición a la onda de la tensión de la red eléctrica de 50Hz de una señal modulada a una frecuencia alejada de la existente en la red y de los ruidos típicos de ésta. Los dispositivos que se encuentran en el mercado para este fin usan una modulación en frecuencias que oscila entre 50kHz y 150kHz, siendo usual el empleo de una frecuencia 120kHz.

La modulación utilizada en el sistema X10 es por desplazamiento de amplitud (ASK). Como onda portadora se emplea una señal de muy baja amplitud de 120kHz, que varía entre un valor de amplitud máximo para transmitir un '1' lógico y la supresión de la portadora para la transmisión de un '0' lógico. El resultado es una onda modulada superpuesta a la onda de la tensión de red.

La transmisión y la recepción se sincronizan con el paso por cero de la tensión alterna de la red eléctrica gracias a un detector integrado en los módulos. Se puede insertar una señal X10 en el semiciclo positivo o en el

negativo de la onda senoidal, de tal modo que un '1' binario se representa por un pulso de 120kHz durante un milisegundo y el '0' binario se representa por la ausencia del pulso de 120kHz, inmediatamente después del paso por cero de la señal de 50Hz de la red eléctrica. Una explicación más detallada de las comunicaciones mediante X10 se encuentra en el Anexo A.

El circuito de recepción toma la señal de 120KHz procedente de la red eléctrica y la proporciona al microcontrolador en forma de pulsos o ausencia de éstos, representando los '1' ó '0' lógicos respectivamente. La información recibida es capturada por el microcontrolador mediante la señal *Xin*, conectada al pin RB1 del mismo. El esquema de este circuito se encuentra en la Figura 21.

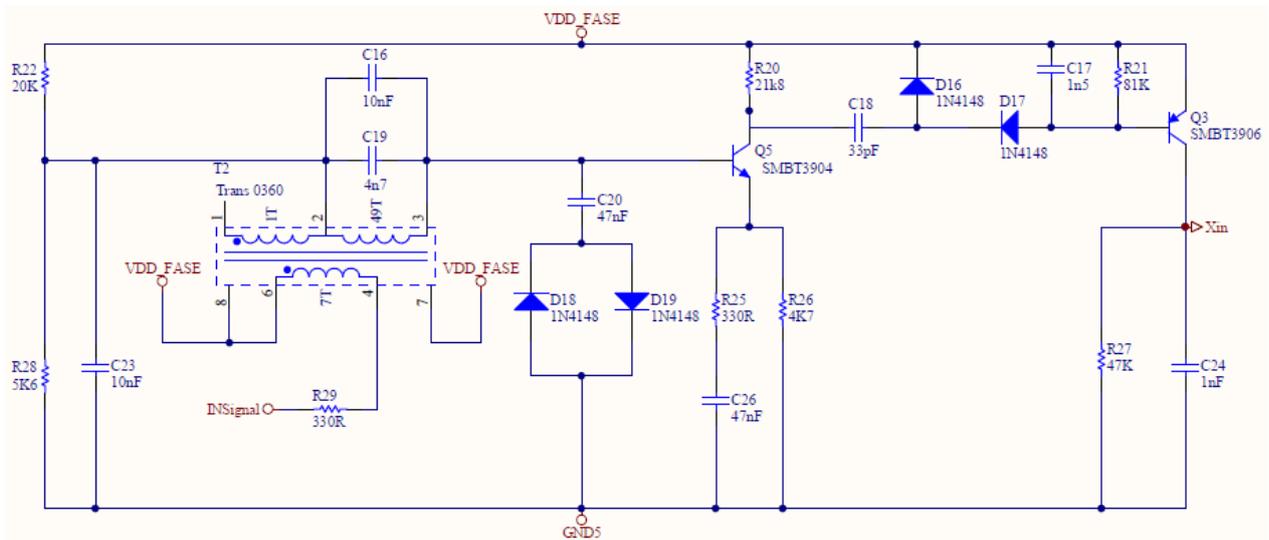


Figura 21: Circuito receptor del módulo X10. Toma la señal procedente de la red eléctrica doméstica y la transforma en tren de pulsos (*Xin*) que envía al microcontrolador.

Por la red eléctrica llega la señal que entra al circuito de recepción a través de *VDD_FASE* e *INSignal*. Esta señal se aplica al primario de un transformador T2 (pines 6 y 4), que hace las funciones de filtro sintonizado a la frecuencia de la portadora de 120kHz, y amplificador de dicha señal. El filtro lo constituyen los condensadores C16 y C19 en paralelo con el secundario del transformador T2 formado por los pines 2-3. La señal filtrada se amplifica de acuerdo a la relación de transformación entre el devanado 2-3 y 6-4 de T2.

Esta señal filtrada de muy poca amplitud llega a la base del transistor Q5, que la invierte y amplifica a niveles de tensión aceptables para el microcontrolador. El circuito formado por el condensador C20 y los diodos D18 y D19 hace las veces de limitador de la señal que entra en la base de Q5. Las resistencias R20, R25 y R26 y el condensador C26 establecen el punto del trabajo del transistor Q5. La señal de salida se acopla a la siguiente etapa a través de C18. Esta siguiente etapa, formada por los diodos D16 y D17 y el condensador

C17, es un detector de pico que reconstruye un pulso único a partir de un tren de pulsos de 120kHz (señal portadora) amplificados por Q5. El transistor Q3 vuelve a invertir este pulso, de manera que el punto *Xin* del circuito aparece un pulso de valor VDD_FASE-GND5 cuando en la red hay presencia de portadora de 120kHz y GND5 cuando hay ausencia de la misma.

La señal *Xin* se muestra en la Figura 22. En la parte superior de la traza del osciloscopio se observa un tren de pulsos recibidos y en la parte inferior se muestra una ampliación de la zona recuadrada en la parte superior. La amplitud de los pulsos es de 4,4V, correspondiente al valor de VDD_FASE-GND5 menos las caídas de tensión en el transistor Q3. La duración del pulso es de 1ms, correspondiente a la duración de la presencia de la portadora de 120kHz sobre la onda de tensión de la red eléctrica doméstica.

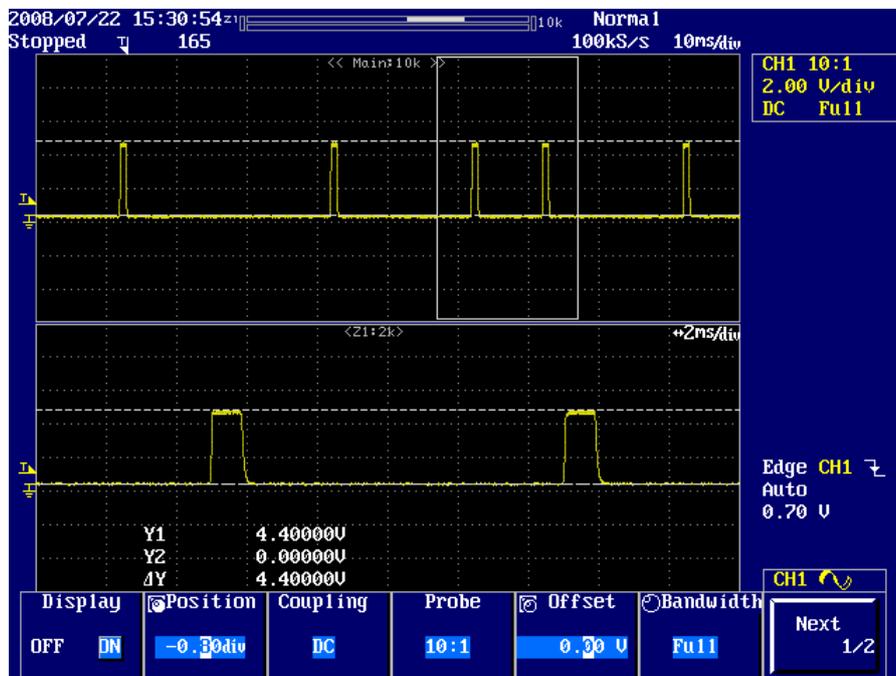


Figura 22: Señal de entrada al microcontrolador (PIC16F876) *Xin*. El trazo superior es el tren de pulsos de la señal *Xin*. El trazo inferior es una ampliación de la zona cuadrada de la parte superior. Escala horizontal 2V/div. Escala vertical 10ms/div.

La señal de pulsos que se observa en la Figura 22 es la señal de entrada al PIC (*Xin*), donde los niveles altos (5V) representan el '1' lógico y los niveles bajos (0V) el 0 lógico. La anchura de los pulsos es de 1ms, aunque la distancia entre dos pulsos consecutivos es de 10ms.

5.2.1.3. Transmisión.

El circuito de transmisión se encarga de acoplar a la red eléctrica doméstica los trenes de pulsos de 120kHz generados por el microcontrolador. Cada tren

de pulsos o ausencia del mismo representa un '1' o un '0' lógicos respectivamente. La señal así generada se denomina *Xout* y viaja sobre la onda de tensión de la red eléctrica de 230V/50Hz conteniendo la información de la dirección del receptor y de la función a cumplir por el mismo.

El microcontrolador envía la señal *Xout* por el pin RC2. Esta señal se muestra en la Figura 23. En la parte superior de la traza del osciloscopio se observa una trama de pulsos enviados por el microcontrolador y en la parte inferior se muestra una ampliación de la zona recuadrada en la parte superior, donde se observa que cada pulso de la trama enviada por el microcontrolador, es en realidad un tren de pulsos de la frecuencia de la portadora.

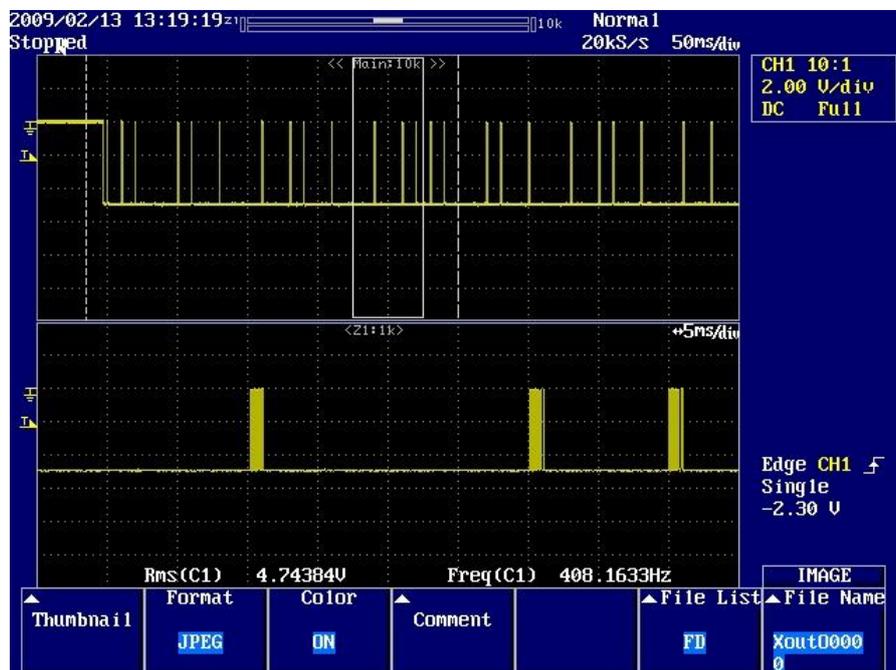


Figura 23: Señal de salida *Xout* del microcontrolador (PIC16F876). El trazo superior es el tren de pulsos de entrada al circuito transmisor. El trazo inferior es una ampliación del cuadro marcado en el trazo superior. Escala horizontal 2V/div. Escala vertical 50ms/div.

La Figura 24 muestra la misma señal generada por el microcontrolador de entrada al circuito de transmisión (CH1, en amarillo), pero esta vez junto con la señal de detección de paso por cero de la onda de tensión de la red eléctrica (CH2, en verde) con la que se sincroniza.

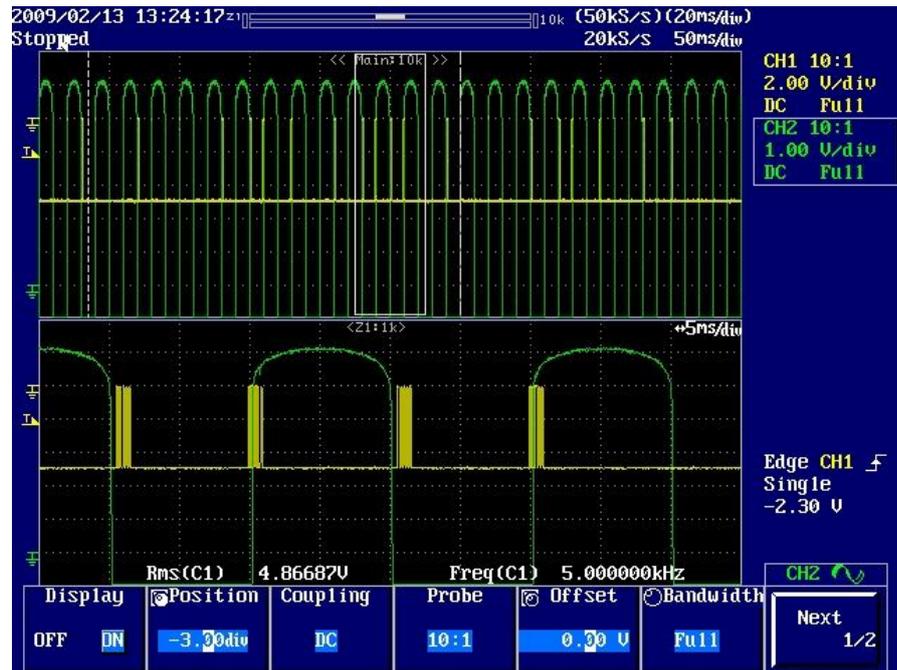


Figura 24: Transmisión Xout. El canal 1 (CH1) en amarillo muestra el tren de pulsos de entrada al transmisor Xout. El canal 2 (CH2) en verde muestra la señal de paso por cero, ZEROx. El trazo inferior es una ampliación del cuadro marcado en el trazo superior. Escala horizontal 2V/div para el canal 1 y 1V/div para el canal 2. Escala vertical 50ms/div.

El bloque de transmisión lo forma el transistor Q4, que excita un circuito resonante LC paralelo formado por los condensadores C21 y C22 y el devanado 3-4 del transformador T1 sintonizado a la frecuencia de la portadora. La forma de onda de la oscilación resonante es adaptada en amplitud por el secundario 5-6 de T1 y acoplada a la red eléctrica a través de C25. En ausencia de señal proveniente del microcontrolador, la señal *Xout* permanece a nivel alto (VDD_FASE) permaneciendo cortado el transistor Q4 y por tanto sin oscilación. En este caso no aparece señal alguna sobre la red eléctrica. La Figura 25 es el esquema del circuito de transmisión, correspondiente al bloque marcado por un recuadro blanco en la Figura 18:

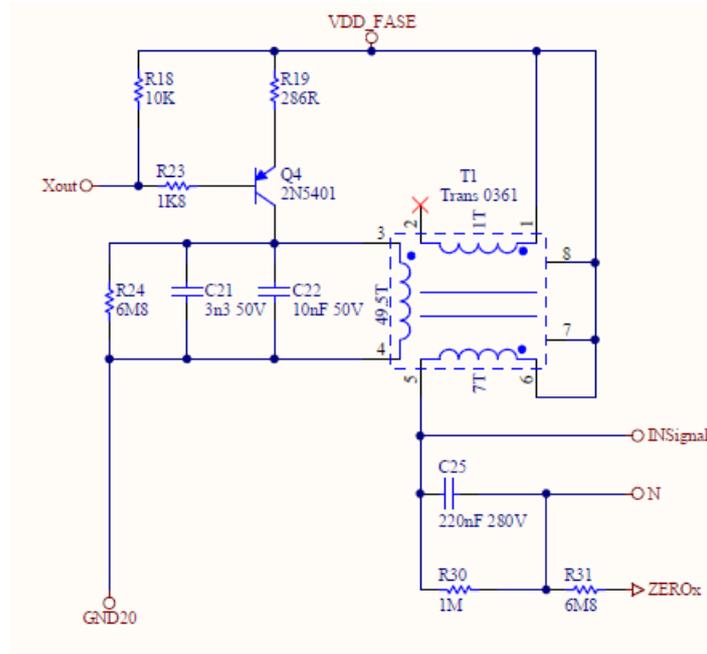


Figura 25: Circuito de transmisión del módulo X10. Toma la señal procedente del microcontrolador (Xout) y la modifica para enviarla por la red eléctrica doméstica.

En la Figura 26 se muestra la señal de excitación de la base del transistor Q4 (CH1, en amarillo) procedente del microcontrolador y la oscilación del circuito resonante (CH2, en verde) entre los pines 3-4 de T1, correspondientes a un pulso de 1ms de duración que representa un '1' lógico. En la parte superior de la traza del osciloscopio se observa el pulso completo y en la parte inferior se muestra una ampliación de la zona recuadrada en la parte superior.

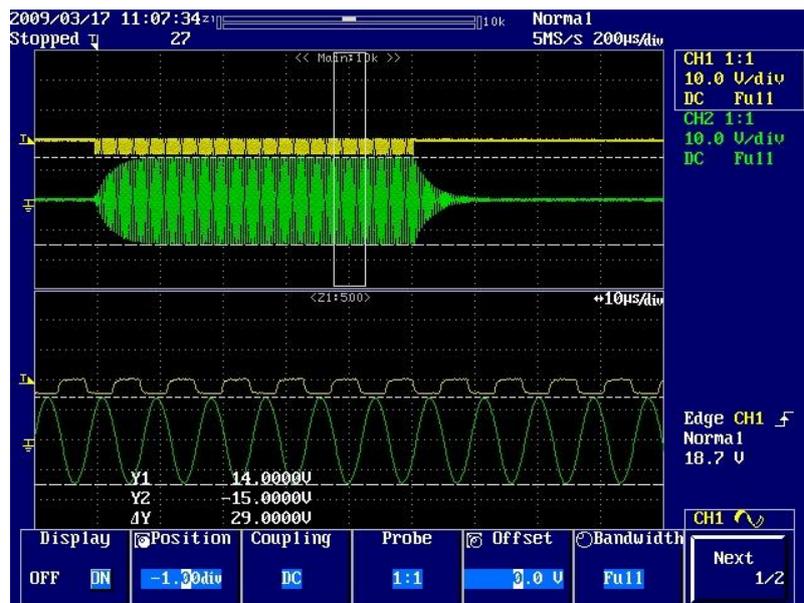


Figura 26: Transmisión transistor Q4. Canal 1 (CH1) en amarillo muestra la forma de la señal en la base del transistor Q4. El canal 2 (CH2) en verde muestra la señal en el colector del transistor Q4. El trazo inferior es una ampliación del cuadro marcado en el trazo superior. Escala horizontal 10V/div. Escala vertical 200µs/div.

La resistencia R18 se comporta como una resistencia de “pull-up”, cuya funcionalidad es la de asegurar que la señal en la base de Q4 no quede en estado flotante.

En la Figura 27 se muestra la señal en el secundario 5-6 del transformador T1 antes de acoplarla a la red (CH1 en amarillo), y la misma señal ya acoplada a la tensión de red eléctrica (CH2, en verde). La amplitud máxima permitida de la portadora sobre la tensión de la red eléctrica viene limitada por las normas UNE-EN 50065-1 y CISPR 16-1.

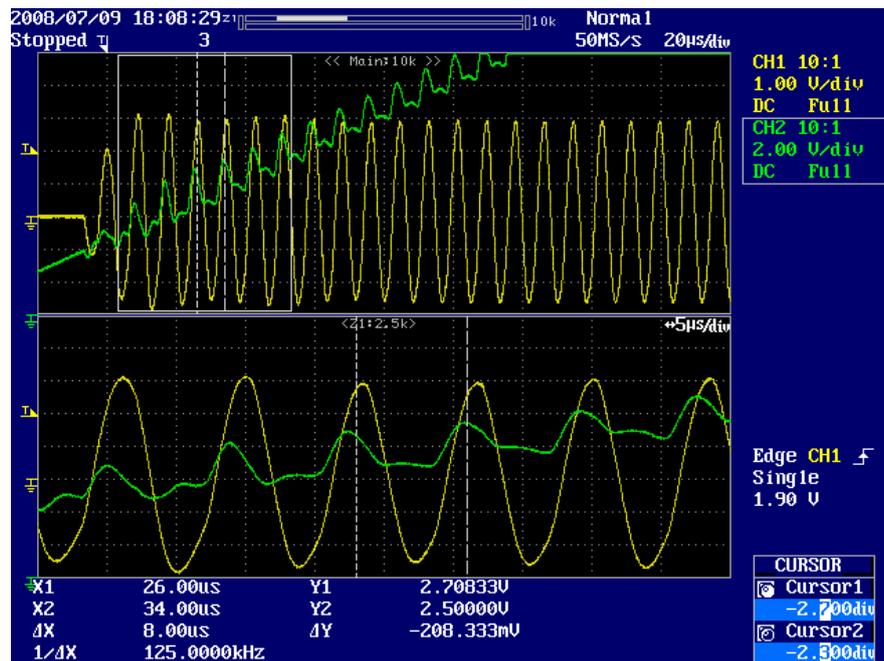


Figura 27: Transmisión IN Signal y Neutro. El canal 1 (CH1) en amarillo muestra la señal IN Signal que oscila entre 0V y ± 2.5 V antes de acoplarla a la red. El canal 2 (CH2) en verde muestra la señal después de acoplarla a la red (Neutro). Escala horizontal 1V/div en el canal 1 y 2V/div en el canal 2. Escala vertical 20 μ s/div.

5.2.1.4. Microcontrolador.

El microcontrolador utilizado es el PIC16F876 de 28 pines del fabricante Microchip [20]. Se encarga de la gestión de la comunicación y de la adaptación de la información en ambas direcciones.

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, la lectura de datos provenientes de la red eléctrica doméstica la realiza a través del pin RB1 del microcontrolador y el envío de datos a ésta lo realiza a través del pin RC2.

El microcontrolador genera tren de pulsos de frecuencia de la portadora utilizando un recurso interno llamado “Pulse Width Modulation” (PWM) o modulación por ancho de impulso. Un circuito generador de una modulación PWM ofrece como resultado una onda cuadrada de una determinada frecuencia

con un ciclo de trabajo (relación de pulso a nivel alta respecto de pulso a nivel bajo en cada ciclo) que puede variar del 0 al 100%.

Las ventajas de utilizar un circuito PWM es que se encuentra incluido en el microcontrolador, y ofrece una manera muy sencilla de excitar el oscilador que genera la señal a acoplar a la red eléctrica doméstica.

En la Figura 28 se muestra la circuitería necesaria para el correcto funcionamiento del microcontrolador, incluyendo el circuito del reloj externo, el circuito de arranque, condensadores de desacoplo de alimentaciones y conector P2 para depuración y reprogramación en placa del microcontrolador, siguiendo las indicaciones de la hoja de especificaciones del fabricante. También se incluye parte del circuito de aislamiento (optoacopladores U2 y U5 y circuitería aneja) necesario para las comunicaciones con el módulo Bluetooth o el módulo GSM.

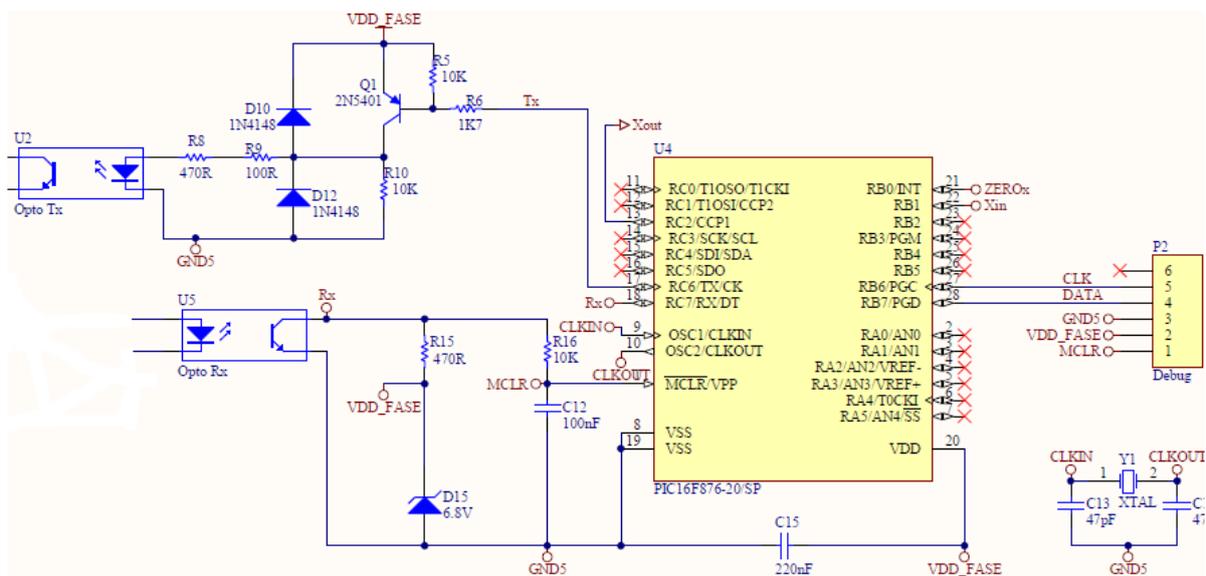


Figura 28: Circuito del microcontrolador. Circuitería para proporcionar una alimentación de 5V al microcontrolador y sus conexiones. Circuitería de aislamiento para la comunicación con el MAX232 mediante optoacopladores.

5.2.1.5. Circuito de comunicación.

Para establecer la comunicación con los módulos Bluetooth y GSM se necesita un circuito que proporcione aislamiento eléctrico entre el módulo X10 referenciado a la tensión de la red eléctrica de 230V/50Hz y los otros módulos conectados a tensiones de alimentación de corriente continua de muy baja tensión, típicamente 5 ó 3,3V. También se necesita un circuito de adaptación de señales de niveles de tensión TTL a niveles de tensión de la comunicación serie RS232. Para ello se emplea el circuito integrado MAX232 que incorpora toda la funcionalidad requerida. Por último es necesario un conector tipo DB9.

El transistor Q1 de la Figura 29 invierte la señal T_x enviada por el microcontrolador (pin RC6/TX/CK) antes de pasarla al diodo del optoacoplador U2. Éste a su vez invierte de nuevo la señal gracias a la configuración del fototransistor de salida. El acoplamiento óptico asegura el aislamiento eléctrico entre la entrada y la salida.

La señal es transmitida a la entrada del circuito integrado MAX232 (señal TX_{opt} de la Figura 29). De la misma manera, pero en sentido inverso, la señal de recepción es enviada desde el circuito integrado MAX232 al microcontrolador, señal R_x (pin RC7/RX/DT), a través del optoacoplador U5, Figura 29.

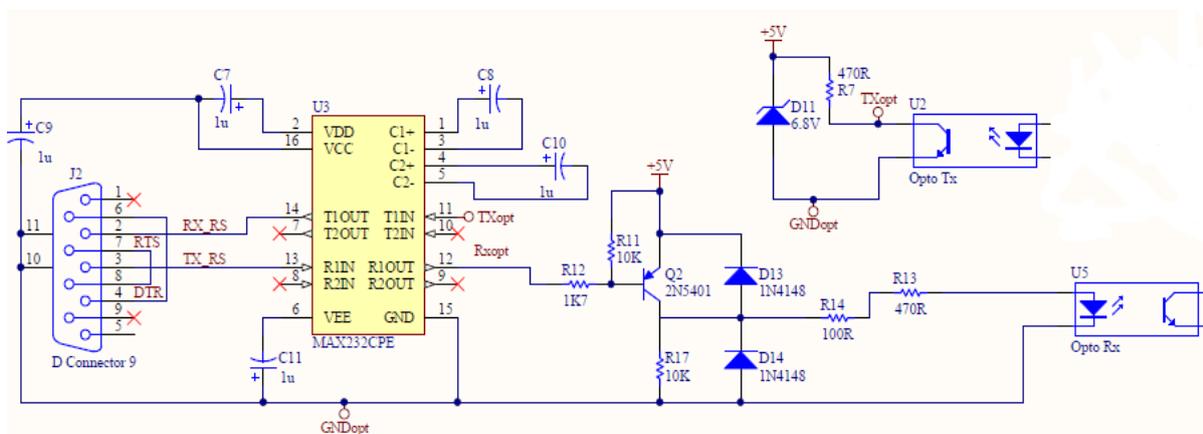


Figura 29: Circuito de comunicación y aislamiento.

El resto de las conexiones y los componentes que acompañan al circuito integrado MAX232 se describen en las especificaciones del fabricante y en el estándar de comunicación vía serie RS232 [16], donde RX_RS y TX_RS son las señales de recepción y transmisión de los pines del puerto serie y TX_{opt} y RX_{opt} son las propias del circuito integrado MAX232.

5.2.1.6. Pruebas hardware.

En la Tabla 10 se explica el protocolo de pruebas hardware seguido para comprobar el correcto funcionamiento del módulo X10. Se describen las pruebas del dispositivo según la división funcional que se ha hecho. La última columna indica la captura de osciloscopio esperada en cada prueba.

Bloque hardware	Señal de entrada	Señal de salida	Imagen resultante
Fuente de alimentación	Conectar el módulo X10 a la red: 230V/50Hz	Canal 1 del osciloscopio en GND5 de la fuente de alimentación y Canal 2 en VDD_FASE, todo ello referenciado a GND20.	Figura 20
Recepción X10	Conectar el módulo X10 a la red eléctrica: 230V/50Hz	Canal 1 del osciloscopio en el colector Q3 para comprobar la señal Xin referenciado a GND5. Esta señal reposa en GND y describe pulsos de una amplitud igual al nivel de VDD_FASE.	Figura 22
Transmisión X10	Conectar el módulo X10 a la red eléctrica: 230V/50Hz	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba 1: Canal 1 del osciloscopio en la base del transistor Q4 y Canal 2 en el colector del mismo. Todo ello referenciado a GND20. • Prueba 2: Canal 1 del osciloscopio en INSignal y el Canal 2 en el Neutro del circuito de transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba 1: Figura 26 • Prueba 2: Figura 27
PIC16F876	Conectar el módulo X10 a la red eléctrica: 230V/50Hz. Conectar además dicho módulo a la fuente de alimentación de 9V y ésta a la red eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba 1: Canal 1 del osciloscopio en el pin 20 del microcontrolador y referenciado a GND5 para comprobar la alimentación del microcontrolador. • Prueba 2: Canal 2 del osciloscopio al pin 21 del microcontrolador (ZEROx) referenciado a GND5. • Prueba 3: Canal 1 en el pin 17 y Canal 2 en el pin 18 del microcontrolador que corresponden a las señales de Transmisión y Recepción de comunicación respectivamente, referenciado a GND5. 	Prueba 2: Figura 23 (Señal ZEROx)
Circuito de comunicación	Conectar el módulo X10 a la red eléctrica: 230V/50Hz. Conectar además dicho módulo a la fuente de alimentación de 9V y ésta a la red eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> • Prueba 1: Canal 1 en el pin 11 del MAX232 y Canal 2 en el pin 14 del MAX232 que corresponden a la señal de transmisión desde el microcontrolador al RS232, referenciado a GNDopt. • Prueba 1: Canal 1 en el pin 13 del MAX232 y Canal 2 en el pin 12 del MAX232 que corresponden a la señal que se transfiere desde el RS232 al microcontrolador (señal de recepción desde los módulos de comunicación), referenciado a GNDopt. 	

Tabla 10: Pruebas de validación del hardware del módulo X10.

5.2.2. Módulo Bluetooth.

El módulo Bluetooth es el encargado de establecer la comunicación entre el sistema y el terminal de usuario. El principal componente de este módulo es el dispositivo WT12 de la empresa Bluegiga [21].

Una de las principales características de este dispositivo WT12 Bluegiga, marcado con cuadro rojo en la Figura 30, es que se puede implementar una conexión Bluetooth simplemente a través de comandos de texto según un protocolo propio llamado iWrap. Con este protocolo sólo es necesario enviar comandos por el puerto serie del módulo (puerto HW) para gestionar las comunicaciones. Es de clase 2 y, por tanto, tiene un alcance aproximado de 20m, aunque es un parámetro configurable.

El control y la gestión del módulo se ha realizado con un microcontrolador PIC16F876 (marcado con un rectángulo verde en la Figura 30) del fabricante Microchip, al igual que en el módulo X10. Éste posee los pines necesarios para controlar los dos puertos serie, uno hardware (HW, marcado en naranja en el Figura 30) para conectarse con el dispositivo WT12 de Bluegiga y otro software (SW, marcado en azul en la Figura 30) para conectarse con el módulo X10. Este último se conoce como SW debido a que no posee una UART "física", sino que se trata de una rutina software implementada en el programa del microcontrolador que ejecuta las tareas propias de una UART y utiliza unos pines del microcontrolador para que actúen como puerto serie.

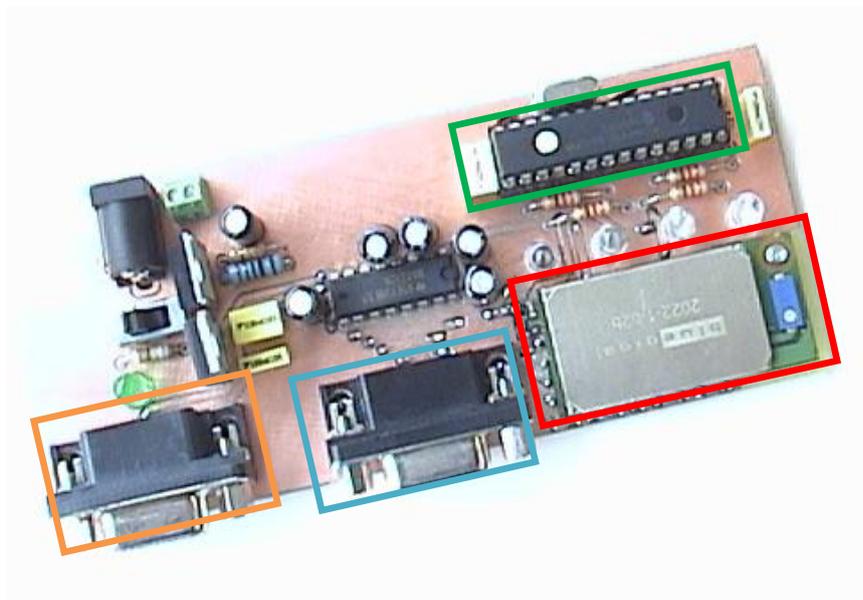


Figura 30: Circuito real del módulo Bluetooth. El rectángulo marrón muestra el puerto serie software (SW). El rectángulo azul muestra el puerto serie hardware (HW). El rectángulo rojo muestra el circuito de comunicaciones Bluetooth. El rectángulo verde muestra el microcontrolador (PIC16F876).

La adaptación de señales de niveles de tensión TTL a niveles de tensión de la comunicación serie RS232 se realiza con el circuito integrado MAX232, en el módulo desarrollado, que incorpora toda la funcionalidad requerida.

En el Anexo C se muestra el esquema del circuito completo correspondiente al módulo de la Figura 30 siguiendo las especificaciones del fabricante para su desarrollo.

5.2.3. Módulo GSM.

El módulo GSM no ha sido desarrollado en el presente trabajo como ocurre con los módulos Bluetooth y X10. Para este módulo se ha empleado un módem comercial GSM/GPRS MTX-65 [22]. Este módem está basado en el chip TC65 de Siemens [23], diseñado para aplicaciones máquina a máquina (M2M).

Las comunicaciones se manejan mediante comandos AT, que son unos comandos de texto para comunicarse con un terminal módem. La telefonía móvil GSM también ha adoptado como estándar estos comandos para configurar y enviar instrucciones a los terminales.

El modem está compuesto por un terminal GSM/GPRS cuatribanda con dos puertos serie para aplicaciones (Figura 31 y 32), un puerto USB para depuración como se muestra en la Figura 31, un bus de expansión que facilita la conexión de todo tipo de periféricos (Figura 32) y los componentes necesarios para utilizar aplicaciones Java J2ME embebidas.



Figura 31: Descripción del Módem GSM/GPRS MTX-65.



Figura 32: Descripción del Módem GSM/GPRS MTX-65.

Las especificaciones técnicas principales del dispositivo son:

- GSM cuatribanda 850/900/1800/1900 MHz para la versión 99.
- Acceso a la pila del protocolo TCP/IP mediante comandos AT.
- Protocolos soportados: TPC, UDP, HTTP, FTP, SMTP, POP3.
- Consumo (para 12 V de alimentación):
 - Potencia baja: 0,5 mA.
 - Modo dormido: 29mA.
 - Modo activo: 184 mA (valor medio).
- Voltaje de alimentación: 6 a 30V.
- GPRS clase 12: 330mA (valor medio).
- SIM Application Toolkit según version 99.

Para realizar el control del dispositivo se usa un microcontrolador ARM, un procesador digital de señales o DSP (*Digital Signal Processor*) Blackfin con memoria RAM de 400KBytes y una memoria flash de almacenamiento de 1,7MBytes. Estos son parámetros suficientes para la función que se quiere implementar: procesar la recepción de mensajes de texto para controlar el sistema domótico.

Además, se emplea Java J2ME con configuración CLDC 1.1 HI y perfil IMP-NG.

Por otro lado, los interfaces de este módem MTX-65 son los siguientes:

- Conector de antenas FME M 50 Ω .
- Puerto serie DB9 completo. Se utilizará para conectar la placa al módulo X10.
- Puerto USB 2.0.
- Interfaz para tarjetas SIM de 3V y 1.8V.

- Interfaz de alimentación.
- Puerto de expansión DB15:
 - 4 pines digitales entrada/salida
 - 2 pines analógicos de entrada
 - 1 bus I2C/SPI
 - RS232 UART
- LED de confirmación de encendido.
- Interfaz de audio.

El motivo por el que se ha empleado este modem en el trabajo es por las prestaciones que presenta, entre otras, para realizar el envío y recepción de mensajes de texto, por poseer un conector compatible con el del módulo X10 para realizar la comunicación, por el tipo de programación utilizada y porque el Departamento de Tecnología Electrónica de la URJC tiene experiencia en el manejo de este módem.

5.3. Software de los módulos del sistema.

A continuación se describe el software asociado a los tres módulos desarrollados: módulo X10, módulo Bluetooth y módulo GSM.

5.3.1. Módulo X10.

Se describe el software de control y monitorización del microcontrolador integrado en un módulo X10, que actúa como nodo maestro del sistema domótico. Este microcontrolador es el portador de toda la “inteligencia” del módulo X10 y obedece las indicaciones de los módulos Bluetooth y GSM.

La primera tarea del software es la inicialización del microcontrolador, incluyendo la configuración del modulador por ancho de impulso o PWM que, como ya se ha comentado, se utiliza como excitador de un oscilador basado en un circuito resonante paralelo LC. Este oscilador genera la señal portadora empleada para la transmisión de la información por la red eléctrica.

La segunda tarea consiste en pasar a un estado de “espera”. En este estado el módulo X10 monitoriza continuamente la red eléctrica, hasta que reciba un comando por dicho puerto proveniente del módulo Bluetooth o del módulo GSM.

Si el comando recibido es una trama de monitorización se envían los datos leídos de la red eléctrica al módulo inalámbrico activado (Bluetooth o GSM).

Si el comando recibido es una trama de ejecución de función se verifica si es correcta. Este proceso se divide en tres fases:

- Verificación del código de casa.
- Verificación del código numérico.
- Verificación del código de función.

Para que la trama se considere correcta los tres caracteres deben serlo, en cualquier otro caso se considera un mensaje erróneo. Si la trama es correcta se envía el correspondiente comando X10 a la red eléctrica doméstica.

Estas tramas están definidas en el apartado 5.1.2.4, donde la Figura 16 es el formato de la trama de ejecución de función y la Figura 17 es el formato de trama de monitorización.

En el diagrama de bloques siguiente (Diagrama 5) no están incluidas, por simplicidad, todas las señales de control ni los mensajes de confirmación existentes en el programa. Se muestran los distintos pasos que siguen dependiendo del tipo de trama recibida y de si hay o no información presente en la red eléctrica doméstica.

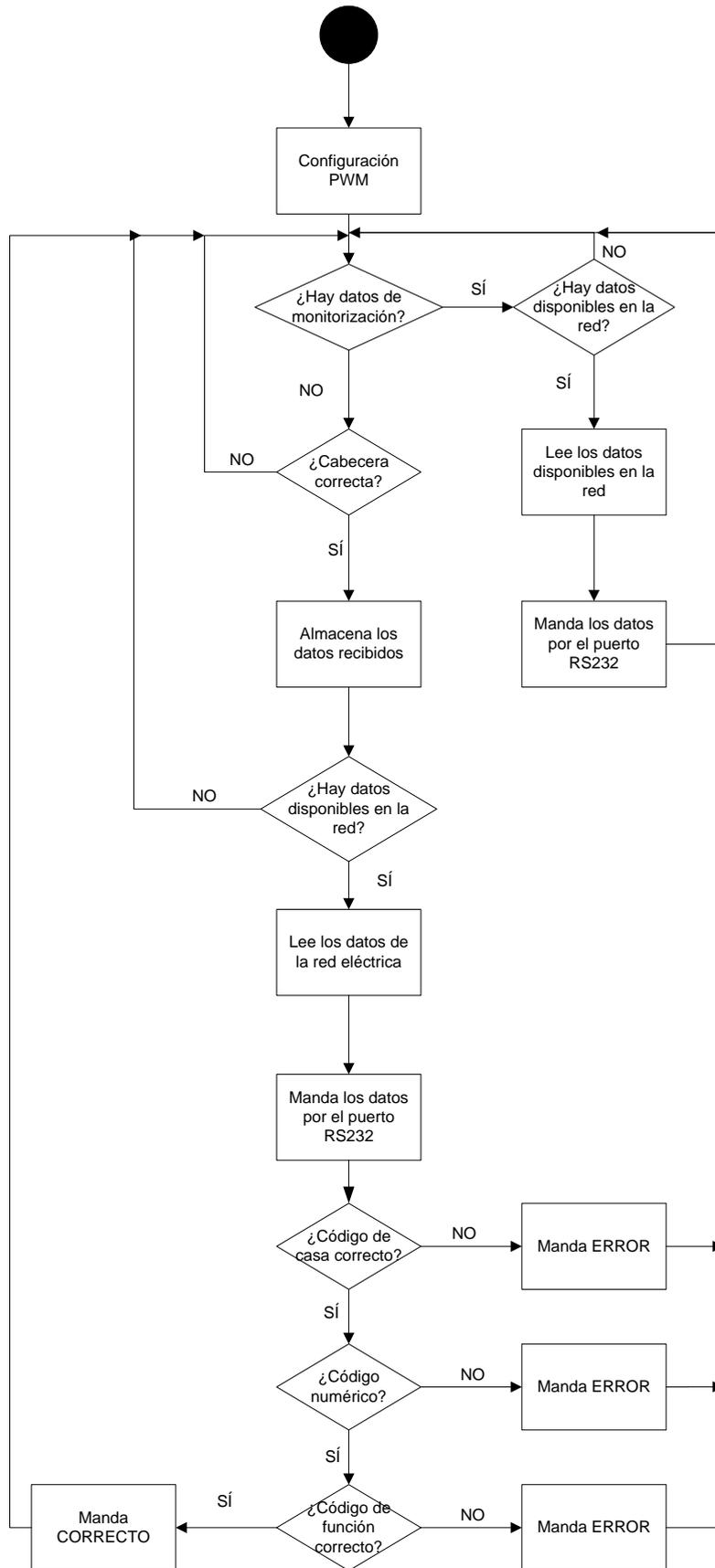


Diagrama 5: Módulo X10.

5.3.2. Módulo Bluetooth.

En el software del módulo Bluetooth se implementarán las funciones necesarias para manejar dos puertos series, uno hardware y otro software. El puerto hardware servirá para comunicarse con el chip Bluetooth, y el puerto software para comunicarse con el módulo X10.

La primera tarea es configurar el dispositivo WT12 de Bluegiga mediante una serie de comandos por el puerto serie hardware. Tras esto, se comprueba si hay datos disponibles en el puerto hardware (conexión serie RS232 conectado al dispositivo Bluegiga) enviados de manera inalámbrica desde el terminal de usuario. En caso afirmativo se almacena el paquete recibido para su posterior envío al módulo X10.

El terminal de usuario debe tener un software específico instalado. Este software permite la conexión mediante Bluetooth al módulo para enviar los comandos que controlen el sistema domótico. Las tramas de estos comandos están definidas en el apartado 5.1.2.4, Figuras 16 y 17.

La segunda tarea consiste en examinar la trama para comprobar si se trata de una petición de monitorización. Si es así, se envía esta trama por el puerto serie software (SW) al módulo X10, y se activa el estado de monitorización, es decir, se espera a recibir información desde el módulo X10 a través de este puerto. Después se envía dicha información al terminal de usuario por el puerto hardware al dispositivo Bluegiga.

Si la trama recibida es de ejecución de función, se activa este proceso.

La tercera tarea consiste en mandar la trama por el puerto serie software para que por el módulo X10 ejecute la instrucción contenida en la trama. Después, se vuelve al inicio del programa.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo (Diagrama 6) de este software:

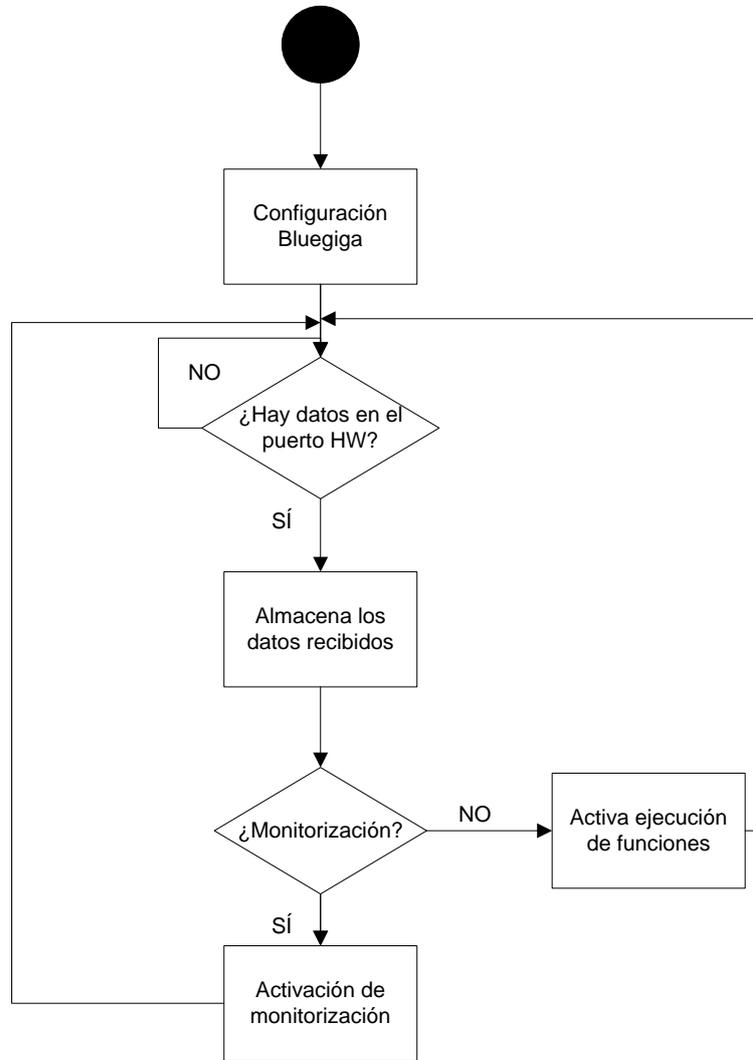


Diagrama 6: Módulo Bluetooth.

5.3.3. Módulo GSM.

El software para el módem GSM ha sido desarrollado en Java como ya se ha comentado en 5.2.3, aunque la metodología llevada a cabo en el programa es similar a la del módulo Bluetooth.

Como primera tarea se realiza la configuración de los parámetros del módem GSM y del puerto serie del mismo.

La segunda tarea del software de este módulo consiste en entra en un estado de “espera”, hasta que recibe un mensaje corto de texto o SMS con una petición de enviar un comando. Este comando lo envía el usuario final desde cualquier terminal de usuario con capacidad de intercambiar mensajes de texto, como el teléfono móvil.

El tipo de mensaje de texto es similar al utilizado por el terminal de usuario con el módulo Bluetooth, pero con distinta cabecera. Fue explicado en el apartado 5.1.2.1.

La tercera tarea, si el mensaje es de monitorización, es esperar a recibir la información desde el módulo X10. Cuando obtiene una trama como respuesta se la manda mediante otro mensaje de texto al dispositivo que inició la comunicación (terminal de usuario).

Sin embargo, si el mensaje enviado por el usuario no es de monitorización se ejecuta la acción correspondiente a la instrucción recibida en el mismo. Tras esto se finaliza la conexión, y se espera a recibir el siguiente mensaje desde cualquier otro dispositivo inalámbrico.

El Diagrama 7 que se muestra en la siguiente página resume el comportamiento del módulo.

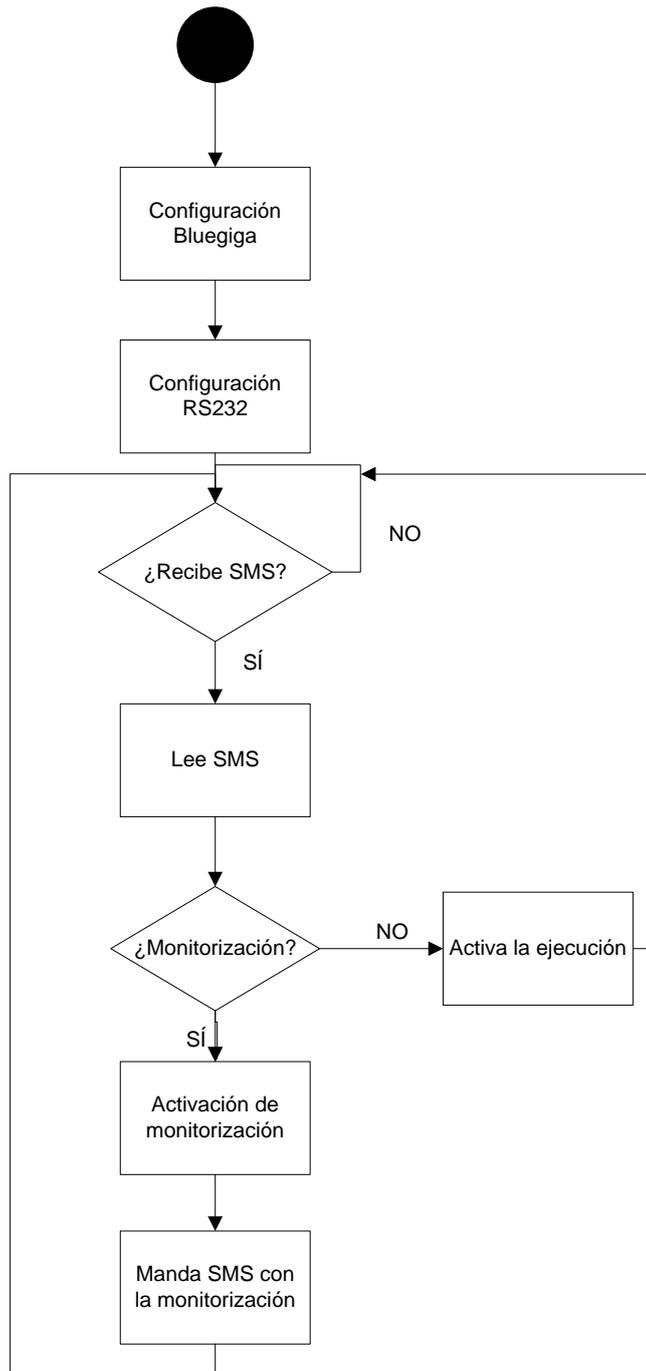


Diagrama 7: Módulo GSM.

5.4. Pruebas realizadas al sistema

A fin de validar la funcionalidad de los módulos desarrollados se han realizado una serie de pruebas del sistema completo en un entorno real, es decir, que simule lo más fielmente posible las condiciones de funcionamiento del sistema en una vivienda.

El entorno de pruebas ha consistido en comprobar el módulo X10 realizado, varios actuadores compatibles con X10 desarrollados previamente por el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Rey Juan Carlos [10] y un actuador comercial de X10, conectados todos ellos a una red eléctrica. A todos los actuadores se les ha conectado una carga consistente en dos bombillas de 100W por actuador.

Por otro lado se ha conecta un ordenador personal al módulo X10 mediante un cable serie y, por tanto, a todo lo anteriormente nombrado como se muestra en la Figura 33.

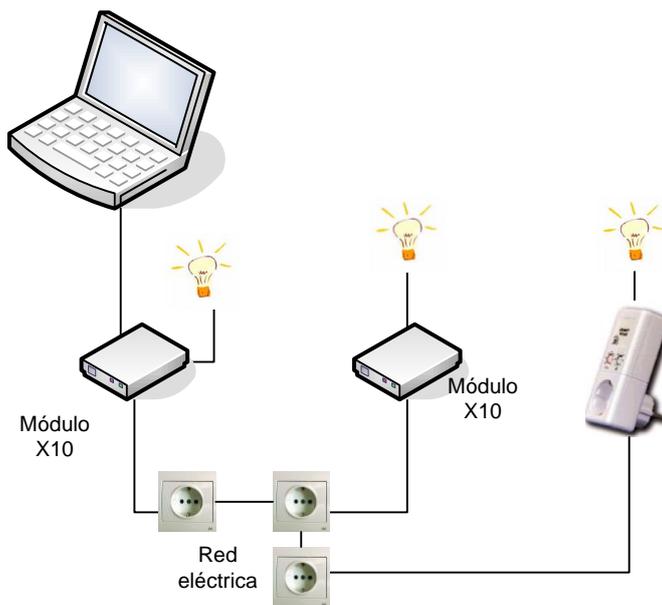


Figura 33: Organización del sistema para realizar la prueba 1

Prueba 1:

En primer lugar, desde el programa Eltima SW, interfaz Rs232, instalado en el ordenador se ha realizado el envío de comandos simulando el módulo BT. En segundo lugar se ha efectuado el envío de la trama necesaria para recibir la información desde la red eléctrica.

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de los módulos X10, se ha conectado el módulo Bluetooth al módulo X10 mediante un cable serie tipo RS232 como se muestra de forma esquemática en la Figura 34.

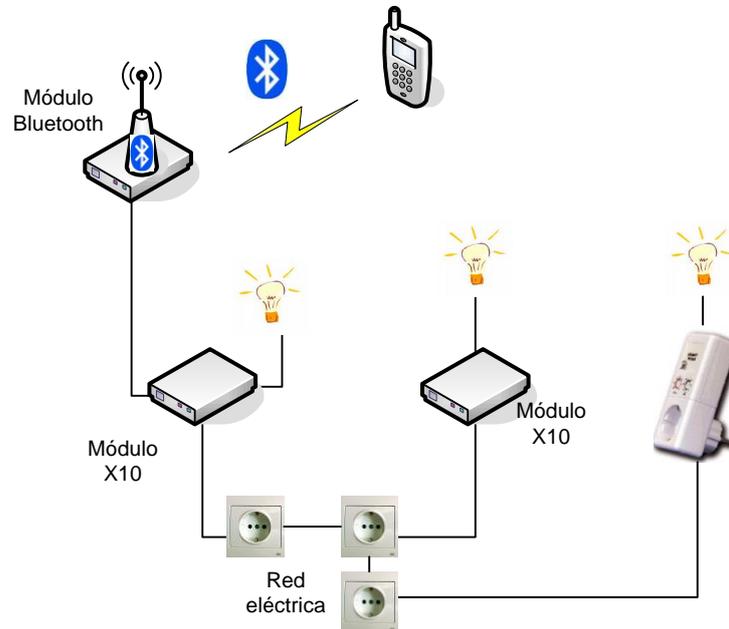


Figura 34: Organización del sistema para la realización de prueba 2

Asimismo se ha empleado un terminal de telefonía móvil en el que previamente se ha cargado la aplicación de envío y recepción de comandos de control vía Bluetooth desarrollada en este trabajo.

Prueba 2:

Esta prueba comienza con la búsqueda y detección del módulo Bluetooth, desde la aplicación del terminal de usuario. Tras la detección y la sincronización entre ellos, el sistema está preparado para el envío de comandos o instrucciones. A partir de ahí se prueban las siguientes funcionalidades:

- Envío de una función desde el módulo Bluetooth para ser ejecutada por el módulo comercial de X10. La función es la de encendido y apagado de luces.
- Envío de una función desde el módulo Bluetooth para ser ejecutada por el módulo compatible con X10. La función es la de encendido y apagado de luces.
- Envío de petición de monitorización de los datos que viajan por la red eléctrica y, por tanto, de los dispositivos conectados a ella. En este caso se ha llevado a cabo la monitorización del cambio de encendido y apagado de luces.

Prueba 3:

Seguidamente se repiten las pruebas pero utilizando esta vez el módulo comercial de GSM en lugar del módulo Bluetooth. En este caso, tanto la solicitud de ejecución de funciones como la petición de monitorización se realizan mediante el envío de un mensaje de texto o SMS (*Short Message System*) con la instrucción adecuada, como se muestra en Figura 35. Con ello se ha completado la segunda parte del proyecto obteniendo como resultado una pasarela X10-GSM.

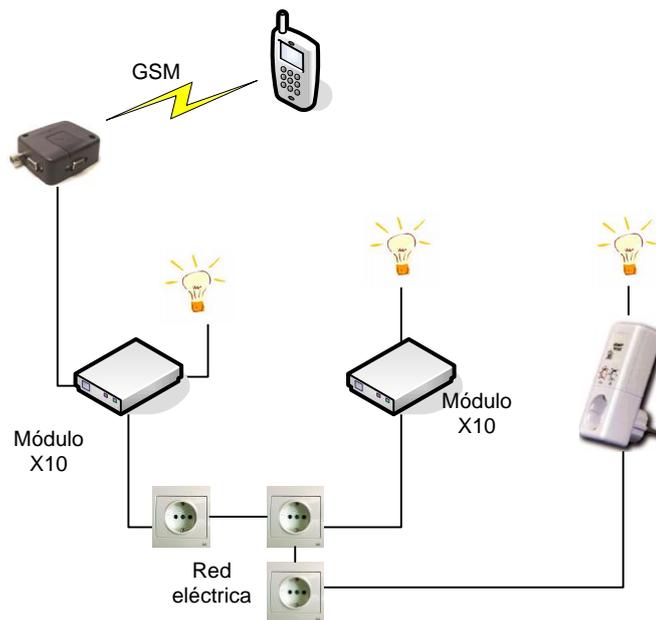


Figura 35: Organización del sistema para realizar la prueba 3

6. Conclusiones

La experiencia del Departamento de Tecnología Electrónica en el desarrollo de dispositivos inalámbricos orientados a la domótica basados en la adaptación, interconexión y programación de módulos comerciales, ha puesto de manifiesto las limitaciones y la falta de flexibilidad de dichos módulos.

A partir de estas limitaciones, se ha planteado que en el presente Proyecto Fin de Máster se desarrollen por completo el hardware y el software de dos módulos básicos, módulo Bluetooth y módulo X10, y se adapte un módulo GSM. A través de estos módulos se puede comunicar cualquier terminal de usuario con tecnología Bluetooth o GSM con el sistema domótico X10. Para ello es necesario que el terminal de usuario disponga el interfaz adecuado. A modo de ejemplo de aplicación, se ha desarrollado una versión básica de dicho interfaz para terminales de telefonía móvil.

Se ha conseguido realizar un hardware y un software modular que permite controlar un sistema domótico, basado en X10, de manera remota mediante dispositivos inalámbricos. El diseño modular permite desarrollar aplicaciones a medida, eliminando las restricciones y la falta de flexibilidad de los módulos comerciales. El sistema desarrollado es totalmente compatible con los dispositivos comerciales X10, consiguiéndose, por tanto, una pasarela abierta e independiente.

Estos resultados satisfacen plenamente los objetivos planteados en el tercer capítulo.

Las mejoras que se proponen para los prototipos desarrollados, algunas de ellas ya implementadas, son:

- Añadir un interfaz USB a los módulos desarrollados. Actualmente se ha generalizado el uso del puerto USB en detrimento del puerto serie RS232. Esto implica que se deba recurrir a interfaces USB – RS232.
- Alimentar la circuitería de comunicaciones desde los módulos y dispositivos de comunicación conectados al sistema X10, evitando de esta manera la utilización de una fuente de alimentación adicional, abaratando y simplificando su montaje.
- Se ha realizado el montaje necesario para poder alimentar la parte aislada de la comunicación serie del módulo de Bluetooth directamente a través del dispositivo al que se conecte, ya sea el módulo GSM, otro módulo o un ordenador personal. El inconveniente de esta solución es que no todos los posibles dispositivos conectables al puerto serie tienen capacidad para suministrar la energía necesaria para alimentarlo. El problema radica en que la alimentación se genera a partir de las señales denominadas RTS y DTR presentes en el conector RS232 y que no se emplean en el módulo. Estas señales no siempre tienen energía suficiente para alimentar la circuitería de comunicaciones.
- Incorporar la funcionalidad de programación del microcontrolador en los propios módulos.
- En el diseño del módulo X10 se ha añadido la funcionalidad de programar el microcontrolador en el propio módulo, eliminando la necesidad de un programador externo y minimizando los tiempos de desarrollo. La mejora de esta funcionalidad y la generalización a todos los módulos es una propuesta para futuros trabajos.
- Dotar a la pasarela de la funcionalidad de establecer pequeñas redes distribuidas de comunicación entre los módulos.

Las futuras líneas de trabajo que se derivan este proyecto son:

- Desarrollo de una interfaz multiplataforma modular para el control y monitorización de las comunicaciones inalámbricas en aplicaciones domóticas.
- Integración de otras tecnologías en la pasarela de comunicaciones, como Zigbee o Wi-Fi, incrementando así la modularidad.

Bibliografía

- [1] X10 Home Automation Knowledge Base. Disponible: <http://www.idobartana.com/hakb/index.htm>, (2008).
- [2] Asociación española de domótica. Disponible: <http://www.cedom.es>, (2009).
- [3] Web de Domótica e Inmótica del Edificio y Hogar Digital. Disponible: <http://www.casadomo.com>, (2008).
- [4] 3Com, Agere, Ericsson, IBM, Microsoft, Motorola, Nokia, and Toshiba. *Bluetooth V1.1 Core Specifications*, 2003. Disponible: <http://www.bluetooth.com> (2008).
- [5] Bluetooth Special Interest Group: <http://www.bluetooth.org>, (2008).
- [6] Web oficial de IrDA. Disponible: <http://www.irda.org>, (2009)
- [7] Web oficial de Konnex. Disponible: <http://www.knx.org>, (2009).
- [8] Web oficial de IEEE. Disponible: <http://www.ieee802.org>, (2008).
- [9] Pasarela GPRS-Bluetooth-X10. Disponible: <http://www.ctmd.deusto.es> , (2008).
- [10] Web oficial del laboratorio del Departamento de Tecnología Electrónica de la URJC. Disponible: <http://gtebim.es/investigacion/labtel>, (2008).
- [11] Storey, Neil. "Electronics A Systems Approach", Pearson-Prentice Hall 3rd Edition, 2006.
- [12] J. Vergara, *Desarrollo basado en prototipos*. Disponible: <http://gsyc.es/~jvergara/memoria-www/node27.html>, (2004).
- [13] Web oficial de distribuidor de OrCAD. Disponible: <http://www.cadence.com/products/orcad/pages/default.aspx>, (2008).
- [14] Web oficial de Altium. Disponible: <http://www.altium.com>, (2008).
- [15] Web oficial de PIC Compiler. Disponible: www.piccompiler.com, (2008).
- [16] Web oficial de Eclipse. Disponible: <http://eclipseme.org>, (2009).

- [17] Web oficial de Eltima SW. Disponible: <http://www.eltima.es>, (2009).
- [18] Asociación GSM: <http://www.gsm.org>, (2009)
- [19] Especificaciones MAX232. Disponible: <http://www.datasheetcatalog.com>, (2007).
- [20] Empresa MICROCHIP. Disponible: <http://www.microchip.com>, (2008).
- [21] Módulo WT12 Bluegiga. Disponible: <http://www.bluegiga>, (2007).
- [22] Empresa distribuidora del módem GSM MTX-65: <http://www.matrix.es>, (2009).
- [23] Chip TC65 de Siemens:
http://www.cinterion.com/en/ktcm/modules_terminals/Terminals/TC65T, (2009)
- [24] Asociación Española de Normalización y Certificación. Disponible: <http://www.aenor.es>, (2008).
- [25] Chaparro, Jeffer. "Domótica: la mutación de la Vivienda", Universidad de Barcelona, 2003.
- [26] Juan C. Cuevas, J. Martínez, Pedro Merino. Universidad de Málaga, *El protocolo X10: Una solución Antigua a problemas actuales*, Simposio de Informática y Telecomunicaciones SIT'02.
- [27] J. Burroughs. Microchip Technology Inc., *X-10 Home Automation Using the PIC16F877A*, 2002.
- [28] Web oficial de X10 en Europa. Disponible: <http://www.x-10europe.com>, (2008).
- [29] Distribuidor de equipos y soluciones X10. <http://www.X-10.org>, (2008)
- [30] PowerHouse, *Power Line Interface Model # PL513 and two-way. Power Line Interface Model # TW523 Technical Note*.
- [31] Empresa especialista en X10, Home-system. Disponible: <http://home-system.com>, (2008).
- [32] M. Riera, L. García, *Circuitos Eléctricos Trifásicos*.

Anexo A

Documentación teórica del Sistema X10.

A. Introducción al Sistema X10.

X10 es un sistema modular de domótica para la automatización del hogar. Permite el control y la supervisión de aspectos como el confort, la seguridad, las comunicaciones y el ahorro energético tanto localmente (directamente o con mando a distancia) como remotamente (internet, teléfono móvil). Para ello utiliza sensores que miden la condiciones del hogar y actuadores que controlan los electrodomésticos, la iluminación, la climatización, las persianas y toldos, las puertas y ventanas, las cerraduras, el riego, el suministro de agua, de gas y electricidad, etc.; y que se comunican entre sí o con una unidad central de control.

a. Breve referencia histórica.

El primer módulo X10 fue desarrollado por los ingenieros de la empresa escocesa *Pico Electronics Ltd*, entre 1976 y 1978, con la idea de obtener un circuito que pudiera ser insertado en un sistema mayor y controlado de manera remota [1].

Cada vez que esta empresa comenzaba un proyecto nuevo le asignaba un número de experimento. Un ejemplo de ello fue el 'experimento nº 9' que consistía en diseñar un circuito integrado (CI) para la empresa británica BSR (British Sound Reproduction), quien poco después contrató a la empresa escocesa para otro proyecto que trataba de un método inalámbrico de control remoto para sus equipos. Esto se convirtió en el 'experimento nº 10' o, simplificado, X10. Este es el origen de su nombre.

Pico Electronics Ltd dominaba parte del mercado europeo en esos momentos, pero era consciente del potente mercado estadounidense y a partir de 1979 comenzó expandirse al otro lado del atlántico con gran éxito. En la actualidad, X10 es una de las tecnologías más aplicadas al ámbito de la domótica de bajo coste.

b. Aspectos generales.

La tecnología que emplea el sistema X10 para la comunicación entre módulos está basada en la transmisión de señales mediante corrientes portadoras sobre la red eléctrica doméstica (Power Line Carrier ó PLC en su nomenclatura anglosajona¹¹). El principio de la transmisión de datos mediante PLC consiste en superponer una señal portadora de alta frecuencia y niveles bajos de energía a un medio de transmisión que es la tensión de la red eléctrica (baja frecuencia y alta energía) de 230V/50 Hz en Europa o 120V/60Hz en EEUU. La tensión de la red eléctrica se transmite a través de la infraestructura eléctrica del hogar de manera que se puede recibir y decodificar la señal portadora superpuesta a ella remotamente en cualquier punto de dicha red.

Los sistemas X10, al utilizar la red de distribución de corriente alterna (CA) convencional existente en los hogares como medio portador de información, presentan la ventaja de la facilidad de instalación frente a otros protocolos que necesitan líneas específicas y por tanto, una infraestructura adicional a la existente, con el coste que esto supone. Además, la realización física de estos módulos permite reducir la instalación de los módulos al simple gesto de enchufarlos a una toma de corriente o de sustituir un interruptor convencional por el módulo empotrable adecuado. Otro aspecto a favor de la tecnología X10 es la flexibilidad dada la variedad de módulos que existen en el mercado que dan la posibilidad de adaptarse a casi cualquier necesidad y de manera progresiva [25]. Como inconvenientes cabe citar que habitualmente toda la "inteligencia" del sistema se encuentra en un único dispositivo programado, del que depende el correcto funcionamiento de la instalación. Además el sistema es muy sensible a las perturbaciones que puedan existir en la red eléctrica doméstica debidas a las interferencias generadas por los distintos aparatos conectados a la misma. Por otra parte, debe evitarse que las señales emitidas por un sistema X10 de un hogar se propaguen por la red eléctrica doméstica a una o varias instalaciones vecinas donde pudieran interferir con otro sistema domótico allí instalado. Por último debe asegurarse que la señal se transmite a todas las fases de la red eléctrica existente en una instalación.

Un sistema típico basado en X10 consta, por tanto, de un controlador o autómatas central que recibe información de los sensores y conforme a ésta y a

¹¹ Conviene no confundir con el término *Power Line Communications*, que usa el mismo acrónimo, PLC y que se refiere a las comunicaciones por la red eléctrica, como por ejemplo conexión a internet a través de la red eléctrica. En este caso, la comunicación por la red eléctrica sería una aplicación concreta de la tecnología de transmisión de señales por corrientes portadoras.

una programación envía señales a unos actuadores. Estos dispositivos sensores y actuadores se conocen como módulos X10.

Como en cualquier sistema de comunicación existen dos tipos de dispositivos, transmisores y receptores. Estos pueden formar parte de un mismo módulo o ser independientes, es decir, podemos encontrar módulos unidireccionales o bidireccionales.

Otros componentes básicos son los filtros y los elementos de acoplamiento entre fases. Existen dos tipos de filtros, unos para aislar los aparatos que puedan interferir en las comunicaciones entre módulos de X10, típicamente cualquier aparato que tenga una fuente de alimentación conmutada que esté conectado a la red eléctrica, y otros para evitar que las señales se propaguen más allá de la propia instalación eléctrica e interfiera con las colindantes. Los elementos de acoplo entre las distintas fases de la instalación eléctrica sirven para permitir que las señales se trasmitan por todas ellas.

En este anexo se explica la tecnología que utiliza el sistema X10, el protocolo común a todo dispositivo de control y comunicaciones y la funcionalidad de módulos que poseen tanto transmisión como recepción.

B. Tecnología.

a. Nivel físico.

Para conseguir la comunicación a través de la red eléctrica se manejan señales superpuestas a la tensión de red y moduladas a una frecuencia alejada de la existente en la red y de los ruidos típicos de ésta. Los dispositivos que se encuentran en el mercado para este fin usan una frecuencia que oscila entre 50kHz y 150kHz, siendo usual el empleo de una frecuencia entre 125kHz y 135kHz.

La modulación empleada en los módulos X10 se denomina modulación en amplitud, debido a que el parámetro que se varía en la señal portadora es la amplitud. Cuando la señal moduladora es de origen digital, se conoce con el nombre de ASK (modulación por desplazamiento de amplitud o *Amplitude Shift Keying* en el término anglosajón).

Como onda portadora se emplea una señal de muy baja tensión a 120kHz, que varía entre un valor de amplitud para el dígito 1 y la supresión de la portadora para la transmisión del dígito 0. El resultado es una onda modulada superpuesta a la tensión de red de 230V/50Hz (Figura36). Esta última se emplea para la sincronización con el paso por cero de la señal.

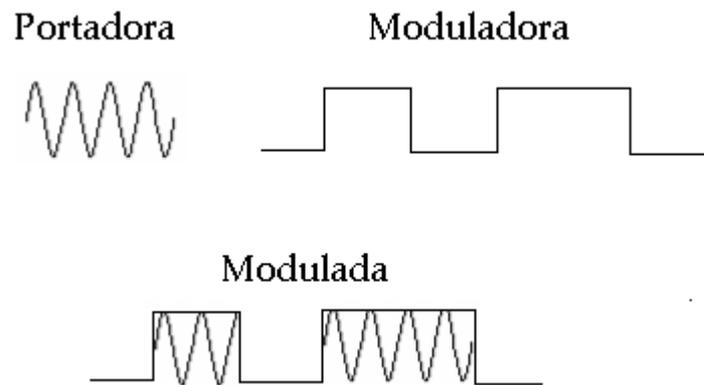


Figura 36: Modulación ASK por supresión de portadora.

Los datos se transmiten en binario de manera que la presencia de la portadora de 120kHz sobre la tensión de red en un instante determinado se interpreta como un '1' binario y la ausencia de dicha portadora en ese instante se interpreta como un '0' binario. El conjunto de la tensión de red más la portadora constituye la señal modulada.

Los datos se codifican de una manera similar a la codificación Manchester, que es un método de codificación eléctrica de una señal binaria en el que en cada tiempo de bit hay una transición entre dos niveles de señal. En el caso del sistema X10 el tiempo de un bit es un ciclo de la tensión de red, y cada bit se representa por él mismo en el primer semiciclo de red y por su complementario en el segundo semiciclo de red. Difiere de una codificación Manchester pura en que la señal de reloj no la da la transición de un bit a su complementario, sino que se toma de la propia onda de la tensión de red. Es una transmisión asíncrona. La señal de sincronización es el paso por cero de la tensión alterna de red gracias a un detector de paso por cero integrado en los módulos.

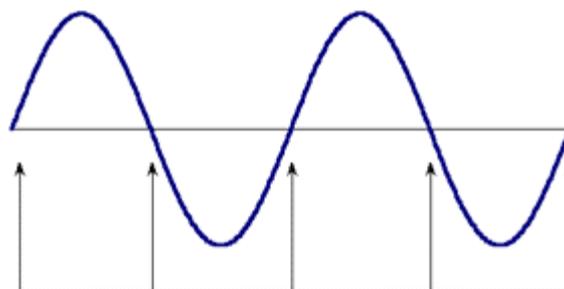


Figura 37: Paso por cero de la onda senoidal.

Se puede insertar una señal X10 en el semiciclo positivo o en el negativo de la onda senoidal, de manera que es independiente del semiciclo de red en que se comience una transmisión de datos y por tanto no depende de la polaridad de conexión del módulo a la red eléctrica. Físicamente un '1' binario se representa por una señal de 120kHz de un milisegundo de duración y el '0' binario se representa por la ausencia de dicha señal de 120kHz inmediatamente después del paso por cero de la tensión alterna de red de 50Hz [28].

En resumen, cada bit se representa por él mismo y su complementario en un ciclo de reloj (un ciclo de la tensión de la red eléctrica), es decir, el '1' binario se representa por la presencia de un pulso de 120kHz en el primer semiciclo y la ausencia de éste en el semiciclo siguiente (10). Para el caso del '0' binario ocurre lo contrario, hay una ausencia de pulso en el primer semiciclo y una presencia en la segunda mitad del ciclo (01). Esta es la condición de complementariedad a uno en medios ciclos alternos, o formato complementario.

- i. Sincronización de la señal modulada con el paso por cero de la CA.

La sincronización de los datos con los pasos por cero de la tensión de la red eléctrica debe cumplir una temporización, de manera que entre el paso por cero de la tensión de red y la presencia de datos exista como máximo un retardo de 200 μ s. En los módulos comerciales este retardo se reparte típicamente de la siguiente manera: el retardo máximo entre el paso por cero real de la tensión de red y la detección de paso por cero integrado en el módulo es de 100 μ s máximo y el retardo entre la detección del paso por cero y el la presencia de datos en la red es de 100 μ s máximo.

Por otro lado, el receptor no comenzará a escuchar los datos recibidos hasta que no transcurran un mínimo de 200 μ s desde el paso por cero de la tensión de red. De esta manera se asegura de no confundir el '0' lógico con el retraso de la recepción de datos.

El tiempo máximo que un bit está en la red es de 1ms a contar desde el paso por cero de la tensión de la red eléctrica (Figura 38).

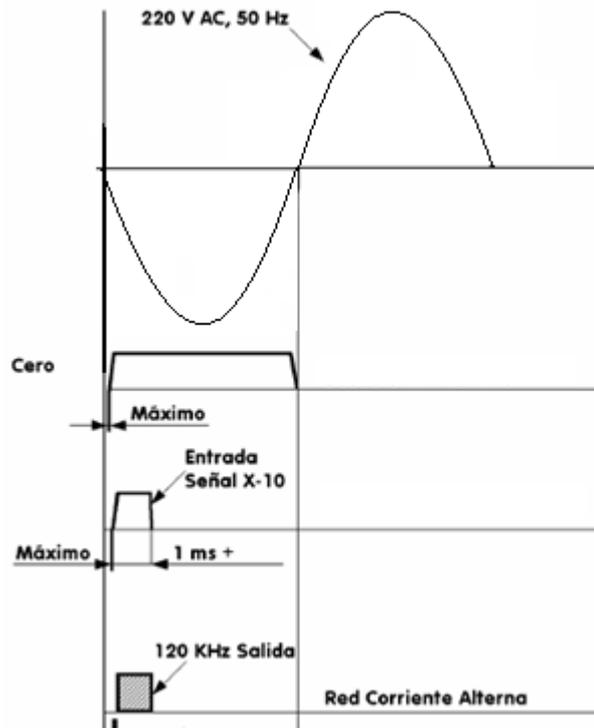


Figura 38: Diagrama de tiempos en transmisión [29].

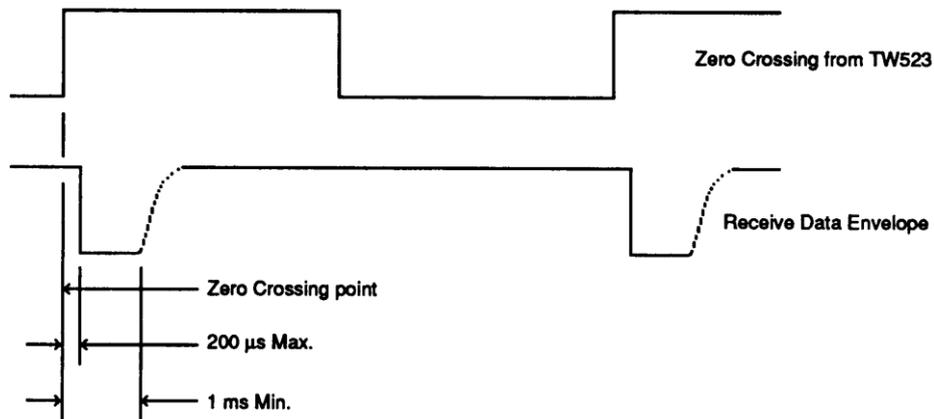


Figura 39: Diagrama de tiempos en recepción [29].

ii. Sistemas trifásicos.

Una vez estudiada la transmisión de una señal de X10 a través de la red eléctrica monofásica, debe plantearse dicha transmisión en las instalaciones eléctricas domésticas alimentadas con un sistema trifásico de tensiones en las que puede darse el caso de que distintas secciones de la misma instalación estén

conectadas a distintas fases, de manera que, por ejemplo, un módulo X10 transmisor conectado en una sección del hogar alimentada por la fase R puede estar enviando un comando a un módulo conectado en otra sección del hogar alimentada por la fase S. Dado que las tensiones trifásicas están desfasadas 120° entre sí, también lo están sus pasos por cero. Por tanto las señales sincronizadas con el paso por cero de una fase van desincronizadas con los pasos por cero de las otras fases, lo que haría imposible la comunicación entre módulos conectados a distintas fases.

Es necesario, pues, que para que cualquier módulo X10 presente en cualquier sección de una instalación eléctrica doméstica pueda recibir o transmitir comandos, tras cada paso por cero de la tensión de red se envíe tres veces la misma señal; una sincronizada por el paso por cero, una segunda retrasada 60° respecto de la primera y una tercera retrasada 120° respecto de la primera, de manera que coincidan con el paso por cero de la fase en la que está conectado el módulo y con el paso por cero de las otras dos fases.

Además, para que estas señales pasen una fase a otra, físicamente separadas, se deben instalar unos elementos de acoplamiento entre las distintas fases de la instalación eléctrica doméstica, de manera que las señales de X10 se transmitan entre ellas.

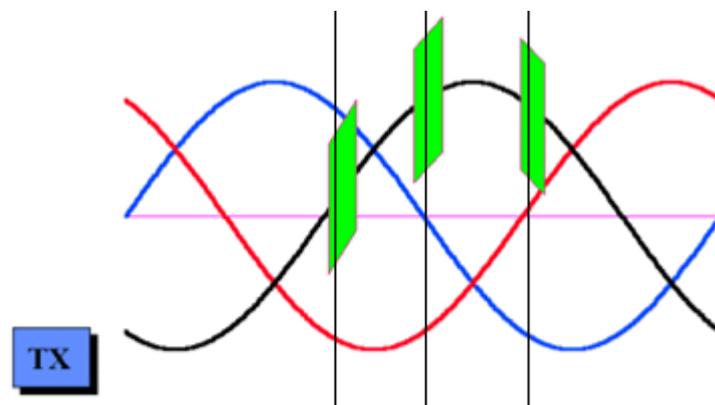


Figura 40: Transmisión de pulsos en sistema trifásico.

b. Protocolo.

Para llevar a cabo la transmisión completa de una trama de X10 son necesarios 11 ciclos de corriente de red. Estos ciclos se dividen en tres bloques distintos:

- Código de inicio: es un código fijo que indica el comienzo de una trama. Es el único código que no posee formato complementario y ocupa los dos primeros ciclos, es decir, los cuatro primeros bits.

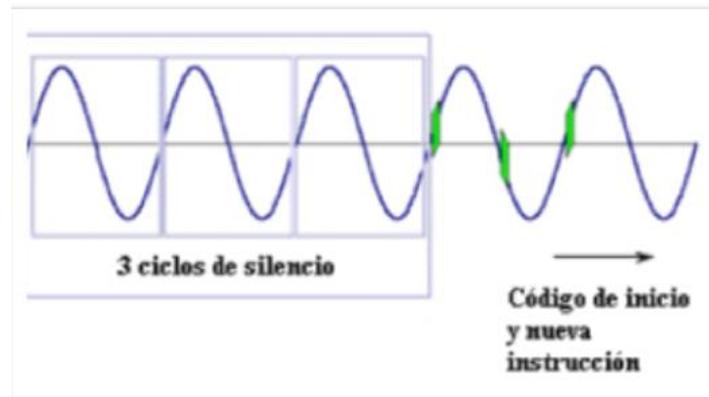


Figura 42: Ciclos de silencio.

Tras los tres ciclos de silencio se envía el código de inicio. Éste tiene reservado los dos primeros ciclos y es siempre 1110, siendo el único código que no cumple la condición de complementariedad a uno en medios ciclos alternos. Como se muestra en la Figura 43, se transmiten tres pulsos en los tres pasos por cero consecutivos y una ausencia de pulso en el siguiente paso por cero.

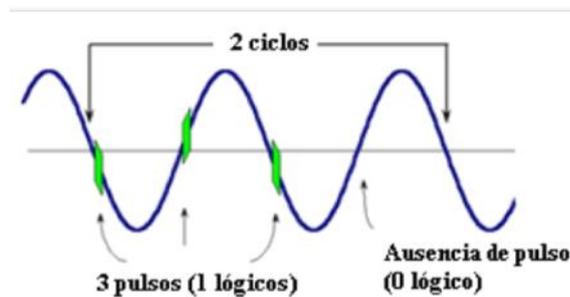


Figura 43: Código de inicio.

ii. Código de casa.

Tras el envío del código de inicio, se transmite el código de casa o de letra que consta de cuatro ciclos de señal para representar cuatro bits, pudiendo elegir entre 16 combinaciones distintas. De esta manera se manda el bit representado por él mismo en un semiciclo y su complementario en la otra mitad del ciclo (Figura 44). La idea de emplear letras para este código surgió como la forma de facilitar al consumidor el funcionamiento de los dispositivos.

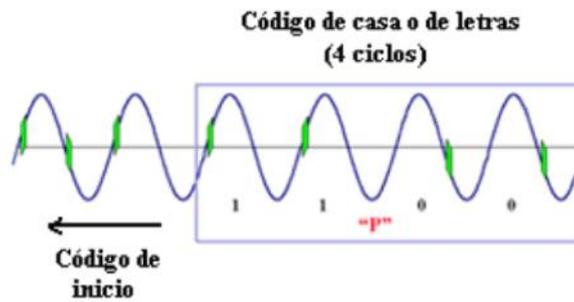


Figura 44: Código de casa.

En la Tabla 11 se muestra los posibles valores que puede tomar el código de casa ([26] y [31]). La asignación de los bits se eligió en su momento al azar para que no fuera previsible la relación letra-código. Teniendo en cuenta esto, se puede comprobar que la primera letra en la tabla sería la “M” siguiendo la progresión binaria.

House Addresses	House Codes			
	H1	H2	H4	H8
A	0	1	1	0
B	1	1	1	0
C	0	0	1	0
D	1	0	1	0
E	0	0	0	1
F	1	0	0	1
G	0	1	0	1
H	1	1	0	1
I	0	1	1	1
J	1	1	1	1
K	0	0	1	1
L	1	0	1	1
M	0	0	0	0
N	1	0	0	0
O	0	1	0	0
P	1	1	0	0

Tabla 11: Código de casa.

iii. Código numérico o de función.

El código numérico o de función es una secuencia de bits contiguos que completan la segunda mitad de la dirección. La aleatoriedad de la relación número-código se debe a la misma razón que en el caso anterior (Figura45).

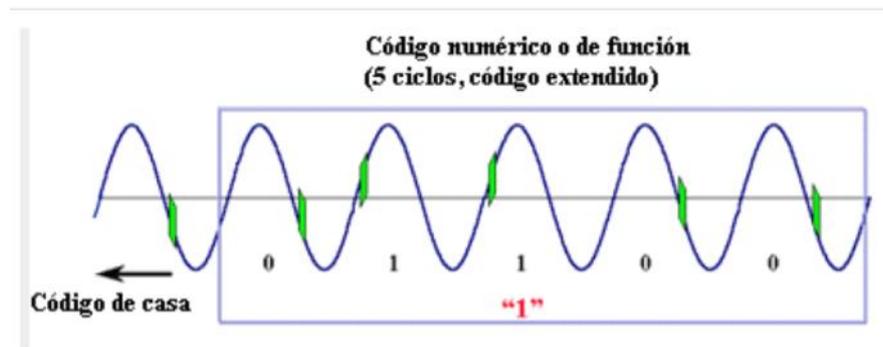


Figura 45: Representación del código numérico.

Como se muestra en la siguiente tabla, el código clave es de 5 bits y se representa con 10 valores lógicos en formato complementario. Debido a que el último bit (D16) es siempre '0' para el código numérico y '1' para el de función, éste bit y su complementario pueden considerarse como un sufijo que informa si se trata de un número o una tarea.

En resumen, un módulo receptor procesa el código de inicio, el código de casa y el código numérico para decodificar la trama que contiene su dirección, con el bit D16 a '0'. Una vez comprobado que ha sido direccionado, espera la siguiente trama que contendrá un comando, que este caso el bit D16 está a '1'.

Unit Addresses		Key Codes				
		D1	D2	D4	D8	D16
1		0	1	1	0	0
2		1	1	1	0	0
3		0	0	1	0	0
4		1	0	1	0	0
5		0	0	0	1	0
6		1	0	0	1	0
7		0	1	0	1	0
8		1	1	0	1	0
9		0	1	1	1	0
10		1	1	1	1	0
11		0	0	1	1	0
12		1	0	1	1	0
13		0	0	0	0	0
14		1	0	0	0	0
15		0	1	0	0	0
16		1	1	0	0	0
Function Codes	All Units Off	0	0	0	0	1
	All Units On	0	0	0	1	1
	On	0	0	1	0	1
	Off	0	0	1	1	1
	Dim	0	1	0	0	1
	Bright	0	1	0	1	1
	All Lights Off	0	1	1	0	1
	Extended Code	0	1	1	1	1
	Hail Request	1	0	0	0	1
	Hail Acknowledge	1	0	0	1	1
	Pre-set Dim	1	0	1	X	1
	Extended Code (Analog)	1	1	0	0	1
	Status = On	1	1	0	1	1
	Status = Off	1	1	1	0	1
	Status Request	1	1	1	1	1

Tabla 12: Código numérico o de función

iv. Trama de transmisión completa.

Utilizando un solo protocolo de direccionamiento se pueden direccionar un total de 256 módulos en la red [30]. Esta señal llega a todos los módulos, pero únicamente el módulo con la misma dirección que la indicada por el mensaje de control llevará a cabo la instrucción dictada.

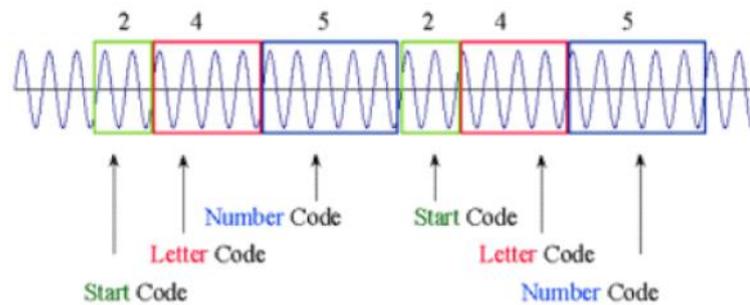


Figura 46: Bloque completo de una instrucción.

Como se muestra en la figura anterior, el bloque completo (Código de Inicio, Código de Casa y Código de Función o Numérico) se transmite siempre dos veces, proporcionando redundancia al mensaje enviado y haciendo más fiable el protocolo. Dos bloques completos consecutivos se deben separar por los tres ciclos de silencio (6 pasos por cero consecutivos, '000000' sin formato complementario). Todo ello se muestra en la Figura 47.



Figura 47: Tres ciclos de silencio entre bloques de instrucción.

La asignación de una dirección a un módulo receptor se hace mecánicamente mediante dos pequeños conmutadores giratorios, uno con 16 letras y el otro con 16 números que permiten asignar una de las 256 posibles direcciones. Pueden existir varios receptores configurados con igual dirección en la misma instalación, de modo que cuando un transmisor envíe una trama con esa dirección realizarán simultáneamente la función predeterminada. Por tanto, un receptor sólo procesa comandos si previamente ha sido direccionado, ignorando el resto de comandos. Evidentemente cualquier módulo receptor puede recibir comandos de diferentes transmisores.

A continuación se explica un ejemplo de la transmisión de una dirección y una función. Se comienza con el envío de la dirección de destino, en este caso 'A2'. Para mandar el dato 'A' se debe utilizar el código de cuatro bits de casa

0110 y sus complementarios 1001 (Tabla 11), al igual que para el código numérico.

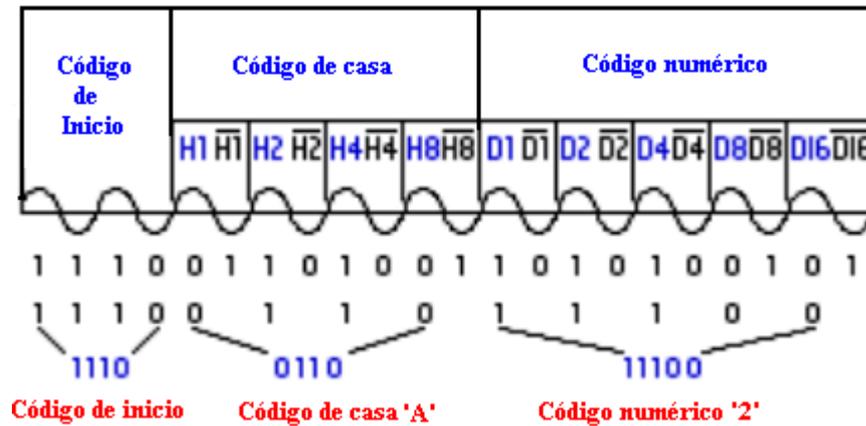


Figura 48: Ejemplo de transmisión del código A2.

Este envío se debe repetir dos veces para completar la trama. El siguiente bloque completo debe esperar un total de tres ciclos (seis pasos por cero) para comenzar el envío de su instrucción, aunque existen excepciones:

- Primero se envía la trama de dirección dos veces, representada por el bit y su complementario en la figura siguiente:

1110	01101001	10101001	01
START	HOUSE A	UNIT 2	Suffix
1110	01101001	10101001	01
START	HOUSE A	UNIT 2	Suffix

- Después se espera tres ciclos de silencio: '000000'
- Tras este tiempo se envía el mensaje completo que indica la función, por ejemplo la misión ON, representada por el cada bit y su complementario en la figura siguiente:

1110	01101001	01011001	10
START	HOUSE A	ON	Suffix
1110	01101001	01011001	10
START	HOUSE A	ON	Suffix

- Por último, se espera tres ciclos de silencio (seis pasos por cero) antes de enviar el nuevo bloque: 000000

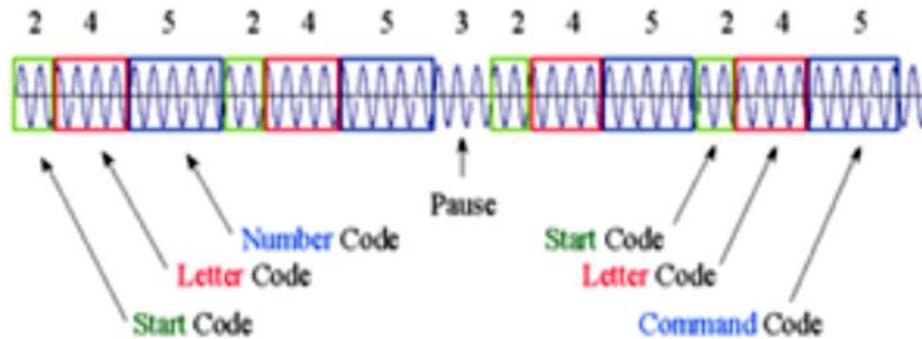


Figura 49: Dos bloques completos consecutivos.

Por otro lado, el tiempo de bit coincide con los 20ms que dura el ciclo de la señal, de forma que la velocidad binaria de 50bps viene impuesta por la frecuencia de la red eléctrica existente en Europa.

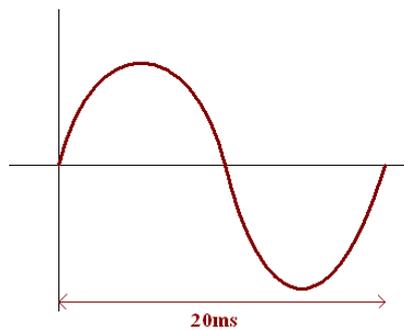


Figura 50: Tiempo de bit.

c. Elementos que forman el sistema X10.

En este apartado se describen los elementos que forman un sistema X10. Estos sistemas al igual que la mayoría de sistemas de comunicación están formados por un emisor, un canal de transmisión y un receptor. Además, pueden tener conectados unos periféricos para el cumplimiento de determinadas funciones. También existen elementos de protección y optimización del sistema.

Los elementos que constituyen un sistema X10 son:

- Controlador: son los módulos que permiten actuar sobre el sistema de una forma automática mediante medidas llevadas a cabo por centrales domóticas que han sido previamente programadas, por

Bluetooth, por infrarrojos, por radio frecuencia (RF), por mensaje, por teléfono o por PC.

- Medio de transmisión: red eléctrica de 230V/50Hz en Europa.
- Actuador: recibe las órdenes a través de la red eléctrica convencional y las transforma en señales de aviso, regulación o conmutación. Los actuadores permiten que los elementos controlados en el hogar cumplan las acciones. Pueden ser empotrados o enchufables.
- Elementos externos: elementos y/o sistemas que son controlados por el sistema domótico y que han sido previamente instalados.
- Filtro de acoplo entre fases: Este dispositivo permite bloquear la salida de la señal X10 fuera de la instalación propia, y evita la entrada de posible ruido parásitos procedentes del exterior de la red eléctrica. En las instalaciones trifásicas, permite que las fases se unan a efectos de transmisión de las señales X10.
- Existen otros dos tipos de filtros en los módulos X10. Uno para aislar los aparatos que puedan interferir en las comunicaciones, y otro para evitar que la señal se propague más allá de la propia instalación eléctrica e interfiera con las vecinas.
- Sensores: para la seguridad del hogar existen en el mercado sensores de movimiento, detectores de humo, detector de inundación, sensor de gas, etc.; que se comunican con los controladores mediante el protocolo X10 o radioenlaces.

Anexo B

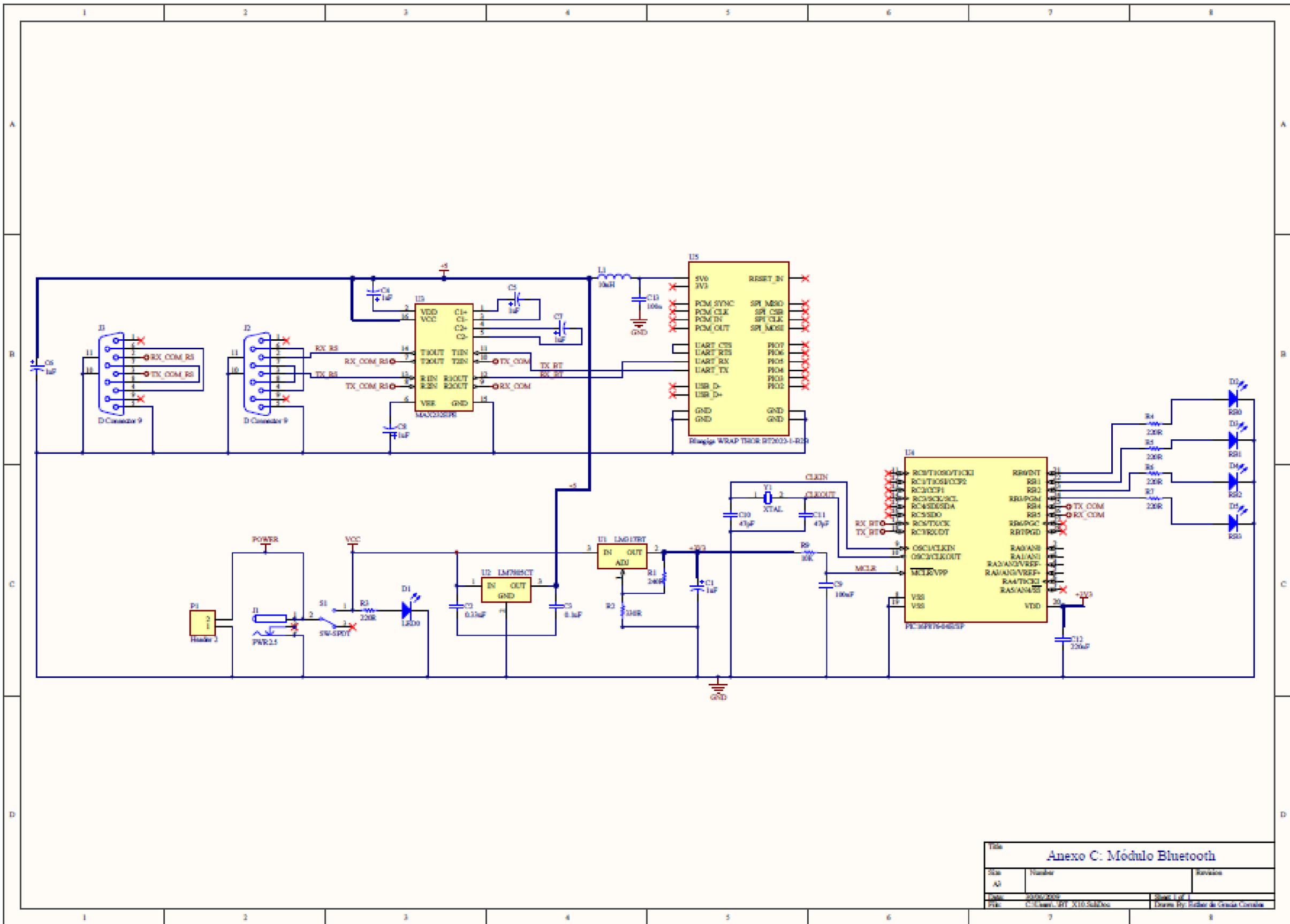
Esquemático completo del módulo X10.

En el esquemático siguiente se muestra el circuito del módulo X10 explicado en el Capítulo 5.

Anexo C

Esquemático completo del módulo Bluetooth.

En el esquemático siguiente se muestra el circuito del módulo Bluetooth explicado en el Capítulo 5.



Título		
Anexo C: Módulo Bluetooth		
Item	Numero	Revisão
01	0000000	Sheet 1 of 1
Proj	C:\Users\BT_X10\Documents	Desenv. By: Nathan de Souza Oliveira
02		

