



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica
Superior d'Enginyeria
Informàtica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática
Universitat Politècnica de València

Sistemas inalámbricos para comunicación con dispositivo móvil

Proyecto final de carrera

Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas

Autor: **Juan Ferrer Ferrer**
Director: **Ángel Rodas Jordá**

Valencia, 23 de julio de 2012

Tabla de contenido

I	Introducción	5
1	Motivación.....	5
2	Objetivos.....	6
II	Materiales y métodos	7
1	PC como herramienta de depuración	7
2	Monitorización del puerto serie	7
2.1	Opciones disponibles	7
2.1.1	Osciloscopio	7
2.1.2	Analizador lógico.....	8
2.1.3	Software.....	8
2.2	Selección	10
2.3	Aplicación elegida	11
2.3.1	Interfaz de usuario.....	11
2.3.2	Configuraciones del proyecto.....	12
2.3.3	Opciones	13
3	Cable Serie. Cable Serie-USB	14
4	Hyperterminal.....	15
5	Herramientas de diseño y construcción de circuitos	15
III	Desarrollo del trabajo	16
1	Modalidades de comunicación inalámbrica.....	16
1.1	Infrarrojos	16
1.2	Radio frecuencia	16
2	Comunicación Bluetooth	18
2.1	Dispositivos Bluetooth	18
3	Comunicación Wifi. Diseño y construcción de una tarjeta inalámbrica	19
3.1	Dispositivos Wifi.....	19

3.2	Características Chip.....	21
3.2.1	Interfaces y patillaje.....	21
3.2.2	Arquitectura del interfaz.....	24
3.2.3	Comandos AT.....	26
3.3	Diseño de la tarjeta.....	28
3.3.1	Circuito de alimentación.....	29
3.3.2	Circuito de reinicio o “reset”.....	29
3.3.3	LEDs.....	29
3.3.4	Circuito de programación.....	30
3.3.5	Conexiones SPI.....	30
3.3.6	Conexión JTAG.....	30
3.3.7	Conexiones UART.....	30
3.3.8	Conector GPIO.....	31
3.3.9	Conector VARIOS.....	32
3.3.10	Disposición del patillaje o “footprint”.....	32
3.3.11	Circuito impreso.....	32
3.4	Construcción de la tarjeta.....	34
3.5	Pruebas y configuración.....	38
3.5.1	Encendido de LEDs.....	38
3.5.2	Configuración software del modo auto conexión.....	39
3.6	Funcionamiento en modo auto conexión.....	42
3.7	Aplicaciones de la tarjeta.....	45
IV	Conclusiones.....	46
V	Trabajos futuros.....	47
VI	Bibliografía.....	49

Tabla de Figuras

Figura 1. Esquema de funcionamiento	5
Figura 2. Esquema de depuración	7
Figura 3. Cable CA-42.....	14
Figura 4. Modulo LinkMatik 2.0.....	18
Figura 5. Módulo Grove.....	19
Figura 6. Chips Wifi. GS1011, RN-131C y RN-171	19
Figura 7. Modulo Wifly Shield.....	19
Figura 8. Modulo AC164136-4.....	20
Figura 9. WLM101. Diagrama de bloques	21
Figura 10. Patillaje del chip (vista superior).....	22
Figura 11. Descripción del patillaje del chip	23
Figura 12. Arquitectura general del WLM101	24
Figura 13. Modos de funcionamiento	25
Figura 14. Diagrama esquemático de la tarjeta Wifi	28
Figura 15. Circuito de alimentación.....	29
Figura 16. Circuito de "reset"	29
Figura 17. LEDs.....	29
Figura 18. Circuito de programación	30
Figura 19. Conexiones SPI.....	30
Figura 20. Conexión JTAG	30
Figura 21. Conexiones <i>UART</i>	31
Figura 22. Conector GPIO	31
Figura 23. Conector VARIOS	32
Figura 24. Patillaje o " <i>footprint</i> "	32
Figura 25. Tarjeta cara superior.....	33
Figura 26. Tarjeta cara inferior	33
Figura 27. Encendido de LEDs en Docklight.....	38
Figura 28. Configuración TCP.....	40
Figura 29. Configuración TCP Hyperterminal	43
Figura 30. Conexión a la red	44
Figura 31. Conexión cliente TCP	44
Figura 32. Comunicación establecida	44

I Introducción

1 Motivación

Cada vez es más frecuente encontrar lo que se ha denominado “dispositivos inteligentes”. Entendiendo dispositivo inteligente como todo aquél que dotado de un microprocesador, y de forma autónoma, es capaz de realizar funciones complejas, ofreciendo nuevos servicios inimaginables hace solo unos años.

El aumento de la capacidad de los microprocesadores, cada vez más potentes, conjugado con la capacidad de comunicación entre ellos ha producido una gran profusión de aplicaciones. Es precisamente en este punto donde las comunicaciones inalámbricas juegan un papel crucial en este gran abanico de posibilidades. El uso de esta tecnología implica una mayor movilidad y una mayor flexibilidad en la conectividad, posibilitando desarrollos impensables con otras tecnologías.

El proyecto consiste en dotar de una comunicación inalámbrica a un dispositivo móvil, para ello se utilizará como estación base un PC desde el que se realizará el control remoto del dispositivo microcontrolado. La primera fase del proyecto, ha consistido en la elección de la tecnología inalámbrica a utilizar, de entre todas las posibilidades finalmente la opción elegida ha sido Wifi. En la segunda fase, se ha diseñado la placa Wifi y se ha probado la misma. En una tercera fase, se presentará un posible ejemplo de aplicación de la tarjeta desarrollada.

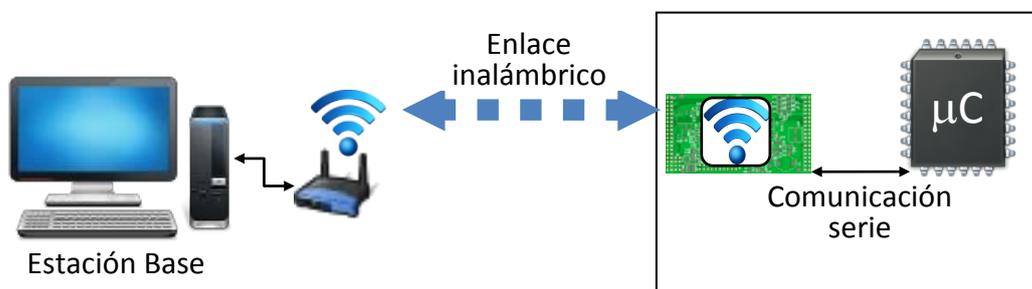


Figura 1. Esquema de funcionamiento

2 Objetivos

Como primer objetivo se pretende realizar un estudio de las diferentes opciones disponibles para comunicación inalámbrica con un dispositivo móvil microcontrolado genérico.

Elegida la tecnología Wifi de las disponibles, se diseñará, construirá y validará, una tarjeta de circuito impreso que implemente dicha tecnología. Dicha validación se realizará utilizando un PC como banco de pruebas mediante una comunicación serie.

II Materiales y métodos

1 PC como herramienta de depuración

Una vez construida la tarjeta Wifi para realizar la verificación de la misma se propone el siguiente esquema de depuración.

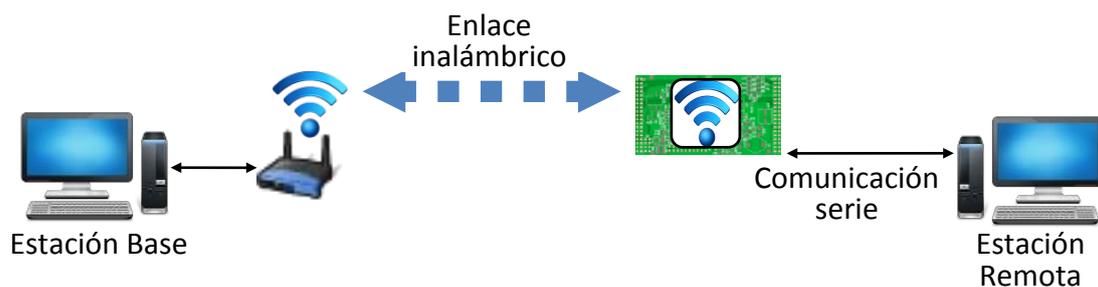


Figura 2. Esquema de depuración

La utilización del puerto serie permite la conexión de la tarjeta casi directamente con el PC.

2 Monitorización del puerto serie

2.1 Opciones disponibles

2.1.1 Osciloscopio

El osciloscopio es una herramienta destinada para la visualización y medida de señales analógicas. Aunque la señal del puerto serie se trate de una señal digital, puede ser captada por el osciloscopio revelando las características analógicas de la señal, como tiempos de subida, tiempos de bajada o amplitudes. Permitiendo detectar anomalías que impidan realizar su función como señal digital. (Tektronix, 2006)

Los osciloscopios de altas prestaciones disponen de disparadores específicos para detectar y decodificar comunicaciones serie que utilizan protocolos como CAN, LIN RS-232/422/485/UART, I2C o SPI. (Tektronix, 2011)

2.1.2 Analizador lógico

El analizador lógico es una herramienta que permite la verificación y depuración de diseños digitales. A diferencia del osciloscopio trabaja con valores lógicos definidos a partir de umbrales de tensión. Siendo capaz de captar varias señales simultáneamente y de analizar las relaciones temporales existentes entre ellas.(Tektronix, 2006)

2.1.3 Software

En el caso del software el abanico de posibilidades es aún mayor que en los dos casos anteriores, ya que existen gran cantidad de aplicaciones cuya función básica es la monitorización de un puerto serie, pero cada una de ellas ofrece unas utilidades diferentes. Las funciones básicas son: ajuste de parámetros del puerto, detección de ordenes/cadenas, preconfiguración de ordenes/cadenas para ser enviadas. Como funciones avanzadas podemos encontrar la programación de respuestas automáticas e incluso lenguaje de scripting que permiten la realización de funciones complejas.

Las aplicaciones de monitorización de puerto serie no sólo ofrecen funcionalidades de monitorización, sino también tiene funciones para realizar test de dispositivos que se comunican mediante una comunicación serie, así como la simulación del funcionamiento de dispositivos serie.

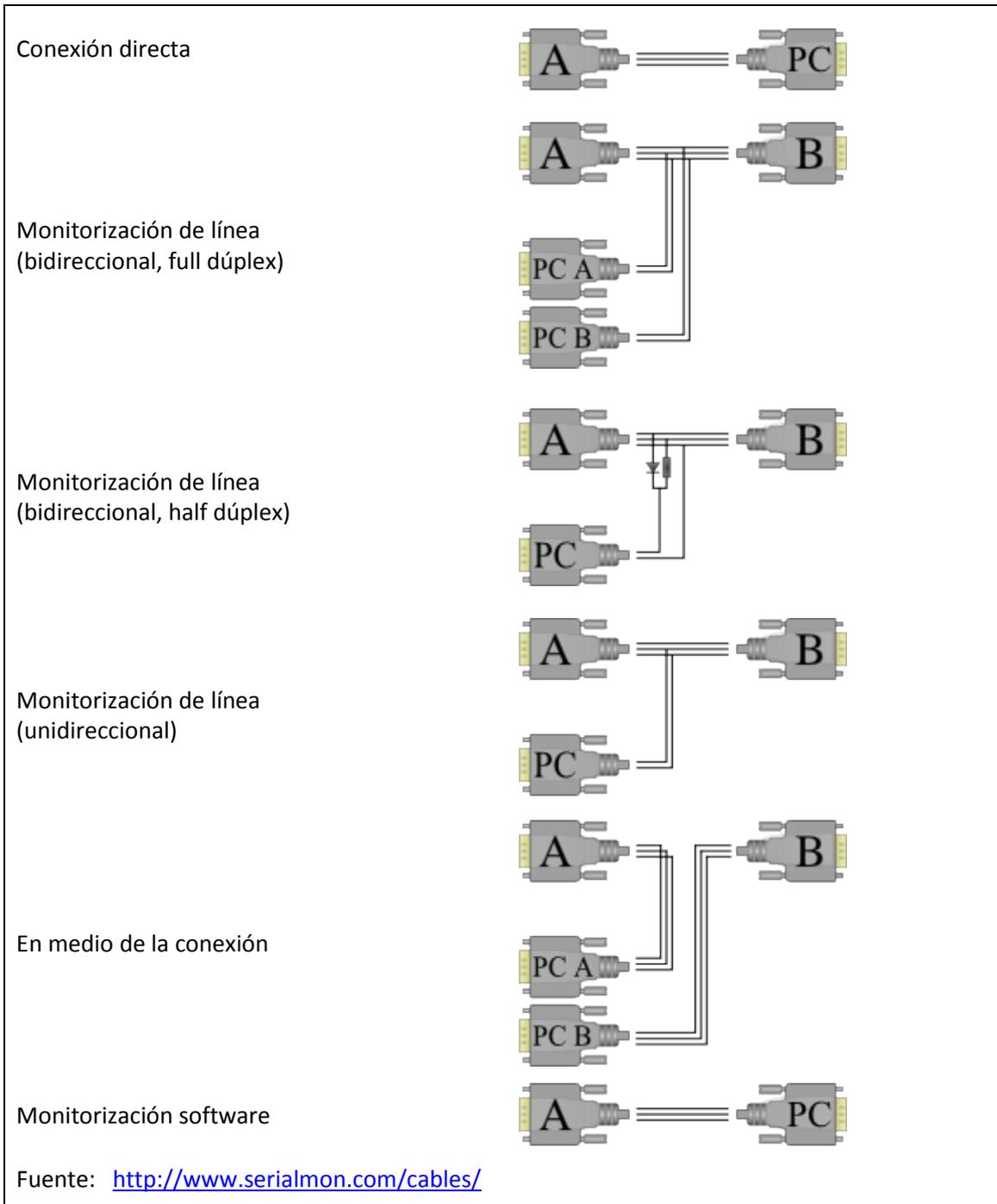
Generalmente permiten la monitorización de todos los tipos de puerto COM, es decir, los puertos estándar integrados en placa, los puertos de placa extendidos, los puertos COM virtuales, los puertos serie Bluetooth, los convertidores USB a SERIE, etc.

En cuanto al precio es variable entre aplicaciones, podemos encontrar opciones totalmente gratuitas (HDD, 2007), en las que se admiten donaciones (SerialMon, 2012) y opciones de pago (AGG, 2012)(CommFront, 2012)(Eltima, 2012)(Docklight, 2012).

En todo caso cualquiera de estas opciones es siempre más económica que la compra de un osciloscopio o un analizador lógico.

2.1.3.1 Tipos de conexiones para monitorización

Existen múltiples configuraciones para conectar el sistema objeto de estudio con el PC encargado de monitorizar/testar/simular.



2.2 Selección

De entre las tres opciones disponibles: osciloscopio, analizador digital y software, finalmente se ha optado por la opción software. Los criterios de selección se han elegido teniendo en cuenta el objetivo particular y concreto del trabajo. Estos criterios se han resumido en el siguiente cuadro.

	Osciloscopio	Analizador Digital	Software
Funcionamiento Analógico	✓	✗	✗
Funcionamiento Lógico	✗	✓	✓
Coste	✗	✗	✓
Portabilidad	✗	✗	✓
Flexibilidad	✗	✗	✓
Facilidad de configuración	✗	✗	✓

El campo de observaciones del osciloscopio es distinto al de las otras dos opciones, aunque ambos campos, analógico y digital, son complementarios. Como se aprecia en la tabla, el osciloscopio se aleja del objetivo que perseguimos. En este momento no estamos interesados en analizar los aspectos analógicos de la señal digital. Por ello, la decisión está entre el analizador digital y el software.

Para el caso concreto del puerto serie la opción software presenta ventajas en todos los criterios fijados. En cuanto al coste, si hay que adquirir un analizador digital única y exclusivamente para monitorizar el puerto serie, este criterio por si solo es más que suficiente para descartar esta opción por completo.

En cuanto al resto de criterios la gran cantidad de alternativas comerciales disponibles hace que la opción software sea mucho más versátil que el analizador digital.

2.3 Aplicación elegida

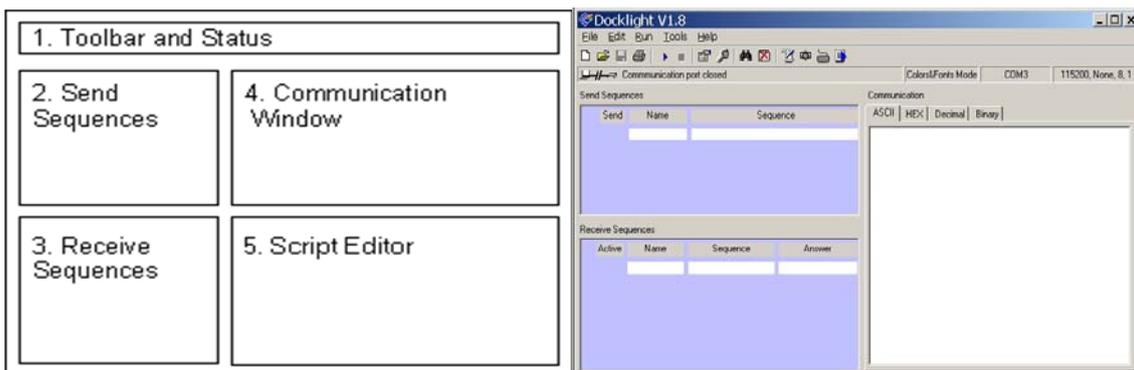
De entre todas las opciones software disponibles se ha elegido Docklight (Docklight, 2012). La elección de una u otra aplicación no tiene mayor relevancia dado que las funcionalidades básicas son muy similares en todas ellas, no siendo necesarias funcionalidades extra para el caso que nos ocupa. A continuación se realizará una breve descripción de dichas funcionalidades basándonos en el software Docklight, esta descripción sería fácilmente extrapolable a cualquier otro software.

2.3.1 Interfaz de usuario

El interfaz de usuario varía de una aplicación a otra, en disposición y número de ventanas pero la información a manejar es análoga en todos.

En Docklight la ventana principal se ha dividido en 5 zonas:

1. Barra de herramientas y estado
2. Envío de secuencias
3. Recepción de secuencias
4. Ventana de comunicaciones
5. Editor de scripts (solo en la versión Docklight Scripting)

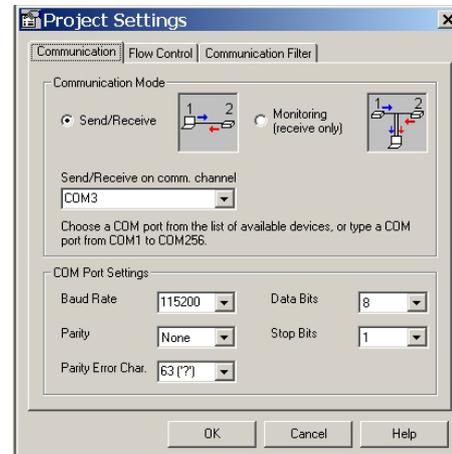


2.3.2 Configuraciones del proyecto

2.3.2.1 Comunicaciones

En este apartado se fijan dos opciones: el modo de comunicación y los parámetros de configuración del puerto.

Disponemos de dos modos de comunicación. Un modo activo, en que se puede enviar y recibir comandos, que será el utilizado para las labores de test y simulación. Y otro modo pasivo, que será el de monitorización propiamente dicho; en éste solo se reciben órdenes, no pudiendo intervenir en la comunicación.

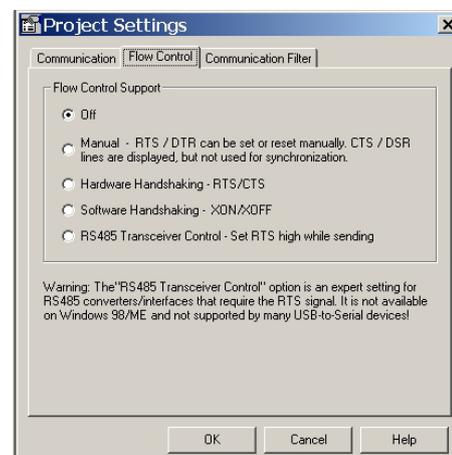


En el primer modo basta con seleccionar un único puerto COM en el PC, mientras que para el segundo es necesario disponer de dos puertos COM para realizar la monitorización. Por cada puerto COM, escuchará los mensajes correspondientes a cada uno de los extremos de la comunicación serie que se está monitorizando. Ver el apartado 2.1.3.1 Tipos de conexiones para monitorización, donde se explica brevemente los tipos de conexiones, permite entender mejor porqué son necesarios dos puertos.

En cuanto a la configuración del puerto, nos permite fijar la velocidad, los bits de datos, bits de stop, bits de paridad y el carácter utilizado para indicar el error de paridad.

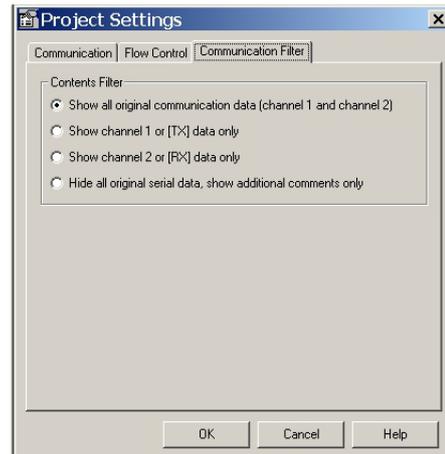
2.3.2.2 Control de flujo

La opción de control de flujo permite controlar el flujo de datos de la comunicación, a través de las líneas que a tal efecto tiene la comunicación serie. Esta opción solo está disponible en el modo activo, ya que cuando se está monitorizando la comunicación no se permite intervención sobre ella.



2.3.2.3 Filtrado

Las opciones de filtrado son muy simples, o muestra los datos de los dos canales simultáneamente, o muestra uno de los dos canales, o muestra únicamente los comentarios ocultando los datos que se envían por los dos canales.

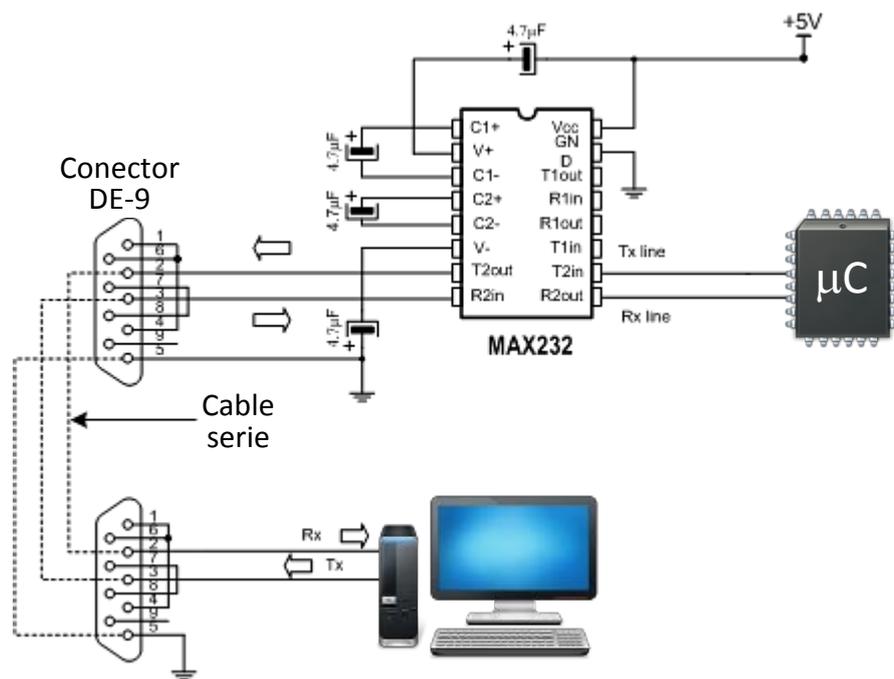


2.3.3 Opciones

Existen una serie de opciones de configuración, tanto para la pantalla de comunicación como para añadir atajos de teclado para introducción de caracteres especiales. Se entiende que no tiene sentido entrar a pormenorizar cada una de ellas, simplemente se presentarán unas capturas de pantalla a modo ilustrativo. Para más referencias acudir al manual de la aplicación.(Flachmann & Heggelbacher, 2009)

3 Cable Serie. Cable Serie-USB

Para poder conectar la tarjeta Wifi o un microcontrolador al puerto serie del PC es necesario acondicionar las señales, dado que los valores de tensión no son compatibles. El PC utiliza el estándar RS-232 cuyas tensiones varían entre +15 y -15 voltios mientras que en TTL o CMOS los valores máximos de tensión son de 3 a 5 voltios. Para el acondicionamiento de las señales se suele utilizar el integrado MAX232. A continuación se muestra un posible esquema de montaje del circuito.



Una opción económica a la vez que versátil, es la utilización de un cable de comunicación para telefonía móvil, como por ejemplo el CA-42 de Nokia, ver Figura 3. Para poder utilizarlo basta con eliminar el extremo que iría conectado al teléfono y sustituirlo por otro conector.



Figura 3. Cable CA-42

De esta forma disponemos de un cable con conexión USB en un extremo y una salida serie con niveles TTL en el otro. Al conectar al PC el extremo USB e instalar los drivers se crea un puerto COM virtual que funciona a todos los efectos como si tuviéramos un puerto serie normal. Esto permite trabajar en ordenadores portátiles en los que no disponemos de puertos serie.

4 Hyperterminal

HyperTerminal es un programa que se puede utilizar para conectar con otros equipos, sitios Telnet, sistemas de boletines electrónicos (BBS), servicios en línea y equipos host, mediante un módem, un cable de módem nulo o Ethernet. En muchos de estos usos ha sido desplazado por otras aplicaciones, pero resulta muy útil para verificar la configuración y conexión de módems o equipos análogos que se conectan al PC a través del puerto serie.

5 Herramientas de diseño y construcción de circuitos

Para la parte de diseño del circuito se ha utilizado OrCAD, que es un conjunto de herramientas de desarrollo que cubren todo el proceso de diseño de una placa de circuito impreso (PCB). Desde el diseño esquemático del circuito y la creación de componentes no existentes en las librerías, hasta el diseño final del circuito impreso. Para el desarrollo del proyecto no se ha utilizado la última versión de OrCAD. En su lugar se ha utilizado la versión que había disponible, ya que la versión 16.2 de OrCAD es suficiente para las características concretas del proyecto.

Para la construcción física de la tarjeta se ha utilizado un equipo de soldadura y revelado estándar del que se describirán las características que se consideren relevantes a lo largo del desarrollo del trabajo.

III Desarrollo del trabajo

1 Modalidades de comunicación inalámbrica

En el ámbito de los dispositivos móviles microcontrolados, las dos tecnologías más utilizadas son la comunicación mediante señales infrarrojas y la comunicación por medio de señales de radio frecuencia.

1.1 Infrarrojos

Entre las principales ventajas de esta tecnología hay que resaltar que los dispositivos son simples y relativamente baratos. Además, se trata de una tecnología inmune al ruido electromagnético. Por último, cabe destacar que no se requiere licencia para su utilización y es una tecnología consolidada que se utiliza desde hace muchos años. Por otra parte, el principal inconveniente que presenta es la sensibilidad al ruido infrarrojo producido principalmente por la luz solar o bien por luces artificiales. Otro de los inconvenientes que se suele presentar es la necesidad de visión directa entre emisor y receptor, es decir, no son capaces de atravesar paredes como es el caso de la radio frecuencia. Esto, en aplicaciones que requieran un alto grado de seguridad, puede convertirse en una ventaja. Otro inconveniente achacado a esta tecnología es el alcance limitado, técnicamente la potencia de la señal emitida podría ser aumentada, pero hay dos aspectos básicos que imponen limitaciones al aumento de la misma. El primer aspecto es la limitación de energía suministrada por las baterías en aplicaciones móviles. El segundo aspecto está relacionado con la seguridad personal, ya que el incremento de la potencia de la señal puede producir lesiones oculares en las personas si se exponen directamente a ésta. Esto no es un problema en aplicaciones para comunicaciones entre satélites.

1.2 Radio frecuencia

En contraposición al caso de los infrarrojos, en que prácticamente no hay regulación de uso, únicamente resaltar la ya citada por motivos de seguridad. La

utilización del espectro de radiofrecuencias está fuertemente regulada, la *International Telecommunication Union* (ITU) es la agencia de la Naciones Unidas encargada de esta gestión. Definiendo para qué partes del espectro es necesario adquirir una licencia de utilización y en qué partes del espectro se puede operar sin necesidad de una licencia.

Las bandas sin licencia reservadas internacionalmente son conocidas como *Industrial, Scientific and Medical* (ISM), pudiendo variar de unos países a otros.

Frecuencias			Disponibilidad
rango		central	
6.765 MHz	6.795 MHz	6.780 MHz	Sujeto a aceptación local
13.553 MHz	13.567 MHz	13.560 MHz	
26.957 MHz	27.283 MHz	27.120 MHz	
40.660 MHz	40.700 MHz	40.680 MHz	
433.050 MHz	434.790 MHz	433.920 MHz	Solo en la región 1 y sujeto a aceptación local
902.000 MHz	928.000 MHz	915.000 MHz	Solo en la región 2
2.400 GHz	2.500 GHz	2.450 GHz	
5.725 GHz	5.875 GHz	5.800 GHz	
24.000 GHz	24.250 GHz	24.125 GHz	
61.000 GHz	61.500 GHz	61.250 GHz	Sujeto a aceptación local
122.000 GHz	123.000 GHz	122.500 GHz	Sujeto a aceptación local
244.000 GHz	246.000 GHz	245.000 GHz	Sujeto a aceptación local

Las comunicaciones inalámbricas por radiofrecuencia se pueden dividir en dos grupos, por una parte las que cumplen con un protocolo estándar y por otra las que no cumplen estos protocolos, o también conocidas como comunicaciones inalámbricas propietarias. Cada marca comercial crea y utiliza su propio protocolo de comunicaciones, como es el caso de Analog Devices, Freescale, Texas Instruments, Microchip, Maxim, Cypress, etc.

En el grupo de los protocolos estándar podemos encontrar un amplio abanico de ellos, ZigBee (IEEE 802.15.4), Wireless HART, RF4CE, Synkro, ISA 100.11a, Bluetooth, WiFi, DECT, HomeRF, HiperLAN2, UWB, WiMAX, Wireless USB, etc. Estos protocolos son desarrollados en campos tan diversos como la domótica, el control industrial, la telefonía, las redes de área personal, las redes de área local o incluso las redes de área metropolitana.

De todos los protocolos citados los más utilizados y que se encuentran disponibles para su utilización tanto en PC como a nivel de microcontrolador son Bluetooth y Wifi.

2 Comunicación Bluetooth

El nombre Bluetooth que recibe la tecnología proviene de un rey danés del siglo X, llamado Harald Blåtand, que fue famoso por sus habilidades comunicativas, unificador de las tribus noruegas, suecas y danesas y por haber logrado el comienzo de cristianización en su cerrada sociedad Vikinga.

A mediados de los noventa se forma un grupo con la idea de crear un dispositivo de bajo costo que permitiera comunicar diversos dispositivos. En 1998 se comienza el desarrollo por parte de un grupo empresas líderes en computadoras y Telecomunicaciones, incluyendo Intel, IBM, Toshiba, Ericsson y Nokia. Estas mismas empresas forman el SIG "*Special Interests Group*", cuyo objetivo es promocionar esta tecnología y asegurar que fuera implementada en un diverso rango de dispositivos. El SIG fue rápidamente ganando miembros, como las compañías 3Com, Axis Communication, Compaq, Dell, Lucent Technologies UK Limited, Motorola, Qualcomm y Xircom.

En la especificación de Bluetooth se definen aspectos hardware, software y requerimientos para interoperabilidad entre dispositivos. La tecnología Bluetooth utiliza la banda de radio ISM de 2.4 a 2.48Ghz disponible a nivel mundial, permitiendo que los dispositivos que utilicen esta tecnología puedan ser utilizados en cualquier parte del mundo.

2.1 Dispositivos Bluetooth

El primero de los dispositivos Bluetooth que es considerado como candidato es LinkMatik 2.0 de la empresa RF Solutions. Es una opción a tener en cuenta ya que hay disponibles módulos en el departamento, además de un amplio conocimiento de cómo trabajar con ellos. El precio de adquisición de cada modulo ronda los 80 €. La hoja de especificaciones completa se encuentra disponible en la página web del fabricante (RF Solutions, 1996)



Figura 4. Modulo LinkMatik 2.0

Otro dispositivo que se ha tenido en cuenta es *Grove – Serial Bluetooth* de la empresa Seeed. Al igual que en el caso anterior se conecta mediante una interfaz de comunicación serie, permitiendo la configuración de una comunicación serie inalámbrica de modo transparente. Toda la información relativa al módulo está disponible en su página web(Seeed, 2012).

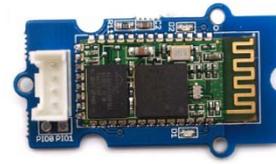


Figura 5. Módulo Grove

3 Comunicación Wifi. Diseño y construcción de una tarjeta inalámbrica

3.1 Dispositivos Wifi

En primer lugar, la tienda online SparkFun, cuya filosofía es aproximar el mundo de la electrónica al usuario medio, ofrece una amplia gama de productos Wifi. Ofrece tanto chips wifi sueltos como chips integrados en placa, algunos adaptados como "Shield" para arduino. Tiene disponibles el chip GS1011 de la empresa GainSpan y los chips RN-131C y RN-171 de la empresa Roving Networks. Con precios que oscilan entre los 22 € y los 68 € de alguna tarjeta.



Figura 6. Chips Wifi. GS1011, RN-131C y RN-171

Un ejemplo de tarjeta sería el Wifly Shield, que es un acople Wifi diseñado para arduino, que se conecta a éste a través del puerto SPI. La primera versión encontrada, ya descatalogada, es la WRL-09367 y ha sido sustituida por la nueva versión WRL-09954 con un precio de venta de 68 € la unidad. Hay disponible un software Wiflyterm 1.1 que permite comunicar el Wifly Shield a través de arduino con el



Figura 7. Modulo Wifly Shield

Pc utilizando un hyperterminal. (El Hombre Mecatrónico, 2010)

La empresa Microchip ofrece en su catalogo la AC164136-4 Wi-Fi PICtail/PICtail Plus Daughter Board, que es similar a la anterior, pero está pensada como banco de pruebas. Contiene el modulo Wifi MRF24WB0MA de Microchip y su precio de venta es de 27 € la unidad. Microchip ofrece de



Figura 8. Modulo AC164136-4

forma gratuita una pila de protocolos TCP/IP TCP/IP Stack for PIC18, PIC24, dsPIC & PIC32 para utilizar con los kits de desarrollo a los que se acopla la WiFi PICtail Plus Daughter Board. Presenta el mismo inconveniente que la anterior, que el interfaz de conexión es SPI.

Por último, en la tienda online de Farnell se han encontrado los chips WLM100 y WLM101 de la empresa Laird Technologies, de características similares a los encontrados en SparkFun y con un precio de venta de 29,48 €.

La elección final se realiza atendiendo a diversos criterios. En cuanto a la elección de la tecnología se ha tenido en cuenta el alcance. Otro factor, que finalmente ha resultado determinante, es que no existían proyectos previos en el departamento que utilizaran la tecnología Wifi dentro de este ámbito.

En cuanto a la elección entre una tarjeta comercial o un chip, existen pros y contras para ambas opciones. La opción de una tarjeta comercial tiene como principal ventaja frente a la otra que se reduce el tiempo total de desarrollo, ya que se eliminan las fases de diseño, construcción y pruebas de la tarjeta. Por contra, la opción del chip permite un mayor grado de personalización. Finalmente se ha elegido la opción del chip, y el diseño y montaje de la tarjeta. De esta forma se ha intentado huir de configuraciones particulares, preparadas para trabajar con kits de desarrollo. También se pretende con ello utilizar el puerto serie, en lugar del SPI que suelen ofrecer las tarjetas comerciales, permitiendo así la depuración desde un PC.

En cuanto a la elección entre un chip u otro, no hay diferencias técnicas significativas. El criterio de selección ha sido por plazo de entrega y facilidad de compra

en la tienda online. Eligiendo finalmente el chip WLM101 de la empresa Laird Technologies.

3.2 Características Chip

El chip WLM101 proporciona una solución, de bajo consumo, flexible y a un precio razonable para suministrar conectividad Wifi a dispositivos embebidos pudiendo ser utilizada en una gran variedad de aplicaciones, como por ejemplo, en la sensorización inalámbrica. Combina procesadores basados en ARM7 con un transceptor de RF, 802.11 MAC y una antena incorporada en el circuito impreso. A continuación, en la Figura 9 se muestra el diagrama de bloques del chip.

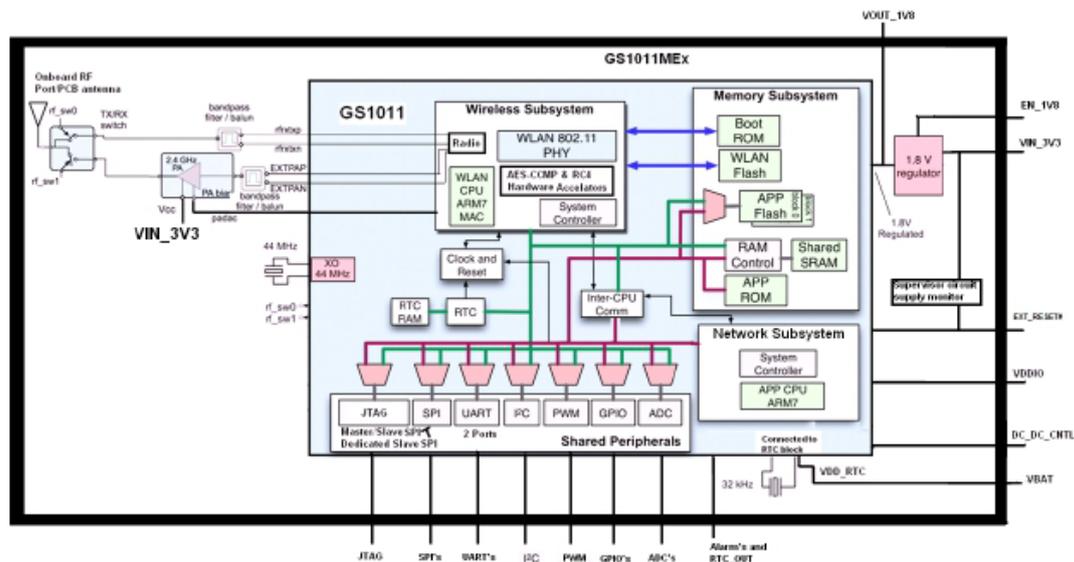


Figura 9. WLM101. Diagrama de bloques

Dispone de dos procesadores, uno dedicado para el subsistema inalámbrico y otro dedicado para el subsistema de red, encargándose de ejecutar las aplicaciones de red.

3.2.1 Interfaces y patillaje

Dispone de dos interfaces UART multipropósito, además de dos interfaces SPI de propósito general, cada una de ellas configurable como maestro o esclavo, permitiendo la conexión de sensores externos, memoria o una CPU externa, y una interfaz I2C que puede trabajar tanto en modo maestro como esclavo.

Se pueden configurar hasta 23 entradas/salidas (I/O) de propósito general, una salida PWM, dos canales ADC de 10 bits con una tasa de muestreo de 32kS/s y dos entradas de alarma para, de forma asíncrona, poder despertar el chip. A continuación se muestran la Figura 10. Patillaje del chip (vista superior) y la Figura 11. Descripción del patillaje del chip, extraídas del manual (Laird Technologies, 2011)

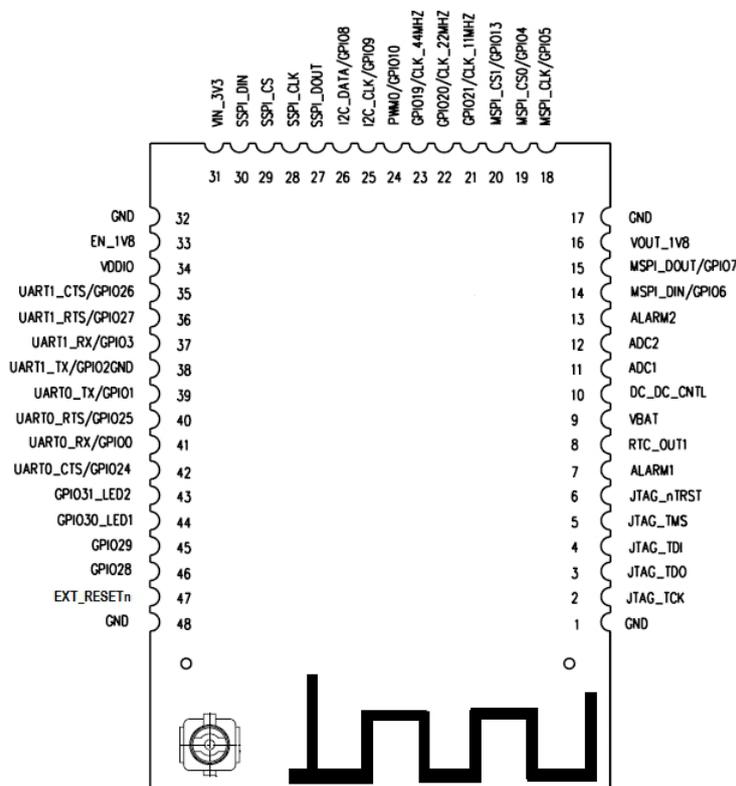


Figura 10. Patillaje del chip (vista superior)

Pins	Name	Voltage Domain	Internal Bias after hardware reset	Signal State	Description
1	GND	0V	Not Applicable	Analog port	Ground
2	JTAG_TCK	VDDIO	Pull-up (See Note 1)	Digital Input	Joint Test Action Group Test Clock
3	JTAG_TDO	VDDIO	Not Applicable	Digital Output	Joint Test Action Group Test Data Out
4	JTAG_TDI	VDDIO	Pull-up (See Note 1)	Digital Input	Joint Test Action Group Test Data In
5	JTAG_TMS	VDDIO	Pull-up (See Note 1)	Digital Input	Joint Test Action Group Test Mode Select
6	JTAG_nTRST	VDDIO	Pull-up (See Note 1)	Digital Input	Joint Test Action Group Test Mode Reset Active Low
7	ALARM1	VBAT	Pull-down (See Note 1)	Digital Input	Embedded Real Time Clock Wake Up Input 1
8	RTC_OUT1	VBAT	Not Applicable	Digital Output	Embedded Real Time Clock Wake Up Output 1
9	VBAT	VBAT	Not Applicable	Analog port	Embedded Real Time Clock Power Supply
10	DC_DC_CNTL	VBAT	Not Applicable	Digital Output	VIN_3V3 Regulator Control Output
11	ADC1	VDD18 (internal)	Not Applicable	Analog Output	General Analog to Digital Converter 1
12	ADC2	VDD18 (internal)	Not Applicable	Analog Output	General Analog to Digital Converter 2
13	ALARM2	VBAT	Pull-down (See Note 1)	Digital Input	Embedded Real Time Clock Wake Up Input 2
14	MSPI_DIN / GPIO6	VDDIO	Pull-down	Digital Input	Master Serial Peripheral Interface Bus Data Input / General Purpose Input Output
15	MSPI_DOUT / GPIO7	VDDIO	Pull-down	Digital Output	Master Serial Peripheral Interface Bus Data Output / General Purpose Input Output
16	VOUT_1V8	VIN_3V3 (internally regulated)	Not Applicable	Analog port	Internal 1.8V Vout
17	GND	0V	Not Applicable	Analog port	Ground
18	MSPI_CLK / GPIO5	VDDIO	Pull-down	Digital Input /	Master Serial Peripheral Interface Bus Clock /

III Desarrollo del trabajo

				Output	General Purpose Input Output
19	MSPI_CS0 / GPIO4	VDDIO	Pull-down	Digital Input / Output	Master Serial Peripheral Interface Bus Chip Select 0 / General Purpose Input Output
20	MSPI_CS1 / GPIO13	VDDIO	Pull-down	Digital Output	Master Serial Peripheral Interface Bus Chip Select 1 / General Purpose Input Output
21	GPO21_11MHZ	VDDIO	Pull-down	Digital Input	Internal Clock Circuitry Test Point / General Purpose Input Output
22	GPO20_22MHZ	VDDIO	Pull-down	Digital Input	Internal Clock Circuitry Test Point / General Purpose Input Output
23	GPO19_44MHZ	VDDIO	Pull-down	Digital Input	Internal Clock Circuitry Test Point / General Purpose Input Output
24	PWM0 / GPIO10	VDDIO	Pull-down	Digital Output	Pulse Width Modulator / General Purpose Input Output
25	I2C_CLK/GPIO9	VDDIO	Pull-down (Note 4)	Digital Input / Output	Inter-Integrated Circuit Clock / General Purpose Input Output
26	I2C_DATA/GPIO8	VDDIO	Pull-down (Note 4)	Digital Input / Output	Inter-Integrated Circuit Data / General Purpose Input Output
27	SSPI_DOUT	VDDIO	Pull-up (See Note 1)	Digital Input	SPI Slave Transmit Data Output to the HOST
28	SSPI_CLK	VDDIO	Pull-up (See Note 1)	Digital Input	SPI Slave Clock Input from the HOST
29	SSPI_CS	VDDIO	Pull-up (See Note 1)	Digital Input	SPI Slave Chip Select Input from the HOST
30	SSPI_DIN	VDDIO	Pull-down (See Note 1)	Digital Input	SPI Slave Receive Data Input from the HOST
31	VIN_3V3	VIN_3V3	Not Applicable	Analog port	Single Supply Port
32	GND	0V	Not Applicable	Analog port	Ground
33	EN_1V8	VDDIO	Need to be driven HIGH or LOW externally	Digital Input	Internal 1.8V regulator enable port-Active High
34	VDDIO	VDDIO	Not Applicable	Analog port	All I/O voltage domain (can be tied to VIN_3V3 or tied to HOST I/O supply)
35	UART1_CTS / GPIO26	VDDIO	Pull-down	Digital Input	Universal Asynchronous Receiver Transmitter 1 Clear to Send Input (See Note 6) / General Purpose Input Output
36	UART1_RTS / GPIO27	VDDIO	Pull-down (See Note 2)	Digital Output	Universal Asynchronous Receiver Transmitter 1 Request to Send Output (See Note 6) / General Purpose Input Output
37	UART1_RX / GPIO3	VDDIO	Pull-down	Digital Input	Universal Asynchronous Receiver Transmitter 1 Receive Input / General Purpose Input Output
38	UART1_TX/ GPIO2	VDDIO	Pull-down	Digital Output	Universal Asynchronous Receiver Transmitter 1 Transmitter Output / General Purpose Input Output
39	UART0_TX / GPIO1	VDDIO	Pull-down	Digital Output	Universal Asynchronous Receiver Transmitter 0 Transmitter Output / General Purpose Input Output
40	UART0_RTS / GPIO25	VDDIO	Pull-down	Digital Output	Universal Asynchronous Receiver Transmitter 0 Request to Send Output (See Note 6) / General Purpose Input Output
41	UART0_RX / GPIO0	VDDIO	Pull-down	Digital Input	Universal Asynchronous Receiver Transmitter 0 Receive Input / General Purpose Input Output
42	UART0_CTS / GPIO24	VDDIO	Pull-down	Digital Input	Universal Asynchronous Receiver Transmitter 0 Clear to Send Input (See Note 6) / General Purpose Input Output
43	GPO31_LED2	VDDIO	Pull-down	Digital Output	Light Emitting Diode Driver / General Purpose Input Output
44	GPIO30_LED1	VDDIO	Pull-down	Digital Output	Light Emitting Diode Driver / General Purpose Input Output
45	GPIO29	VDDIO	Pull-down (See Note 3)	Digital Input / Output	General Purpose Input Output
46	GPIO28	VDDIO	Pull-down (See Note 3)	Digital Input / Output	General Purpose Input Output
47	EXT_RESETn (See Note 5)	VDDIO	Pull-up	Digital Open Drain Input / Output	Module Hardware Reset Input and Power Supply Reset Monitor Indicator Active Low
48	GND	0V	Not Applicable	Analog port	Ground

Notes

1. For the noted pin configurations, please refer to data sheet power supply section.
2. If I2C interface is used, provide 2KOhm pull-ups, to VDDIO, for pins 25 and 26 (I2C_CLK and I2C_DATA). If not used, leave pins 25 and 26 as No Connects.
3. Connect to external HOST SPI (can be left as No Connects if not used).
4. Connect to external serial HOST UART (can be left as No Connections if not used)
5. This switch enables the programming of WLM10x onboard flash. Switch is recommended for development purposes and is not needed for production.

Figura 11. Descripción del patillaje del chip

3.2.2 Arquitectura del interfaz

La arquitectura de comunicaciones del chip se muestra en la Figura 12. Arquitectura general del WLM101. Siguiendo el flujo de información de izquierda a derecha, el manejador de datos serie es el encargado de recibir y adaptar datos provenientes desde la UART o la SPI. Si estos se datos corresponden con comandos relacionados con la gestión del chip o las conexiones de red, son interceptados por el procesador de comandos. En caso contrario, el manejador de transmisión de datos es el encargado de transferirlos a la pila TPC/IP y la interfaz Wifi. En sentido contrario el manejador de recepción de datos recibe los datos de la pila TPC/IP y la interfaz Wifi, para después transferirlos al manejador de datos serie que se encarga de convertirlos a un formato compatible con UART o SPI, y de enviarlos.

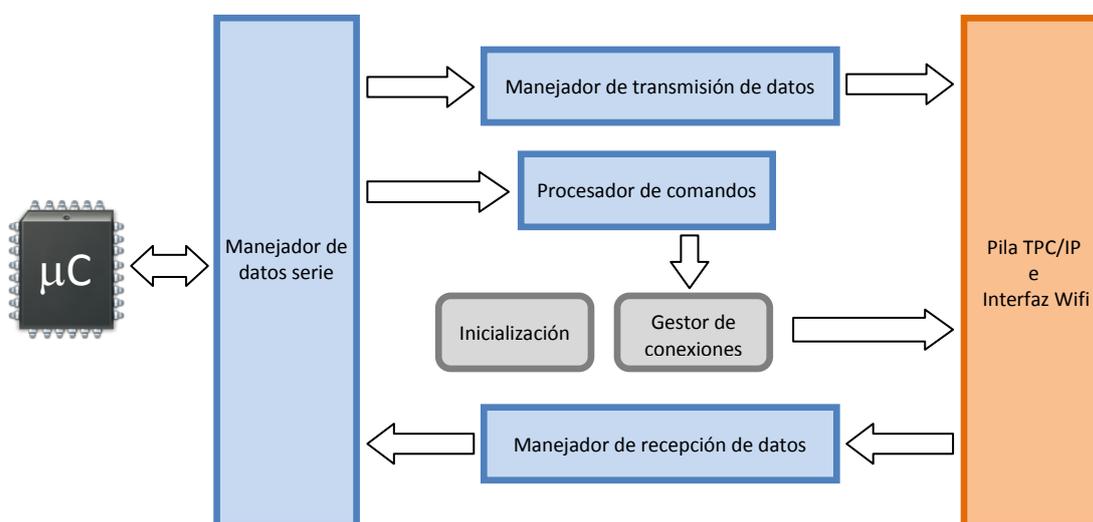


Figura 12. Arquitectura general del WLM101

El chip dispone de tres modos de funcionamiento, siendo el modo de funcionamiento por defecto el modo de operación de procesamiento de comandos. En este modo, se encuentra a la escucha de comandos que pudieran ser recibidos a través de la interfaz serie que son interceptados por el procesador de comandos, tal y como se ha indicado anteriormente, permitiendo de esta forma la configuración y gestión de todas las funcionalidades del chip. Es precisamente desde este modo desde donde se pueden utilizar todos los comandos de que dispone el chip, existiendo limitaciones en los otros dos modos de operación.

El segundo modo de funcionamiento, denominado modo de procesamiento de datos, permite el envío y recepción de datos. Puede tener activas hasta un total de 16

conexiones TCP y UDP, a las que se asigna un identificador (CID), que se crean a partir de una pareja dirección IP destino y puerto. El acceso a este modo de funcionamiento se realiza desde el modo de procesado de comandos, y para salir del mismo es necesario introducir una secuencia de escape, retornando el modo de procesado de comandos como se aprecia en la figura 13.

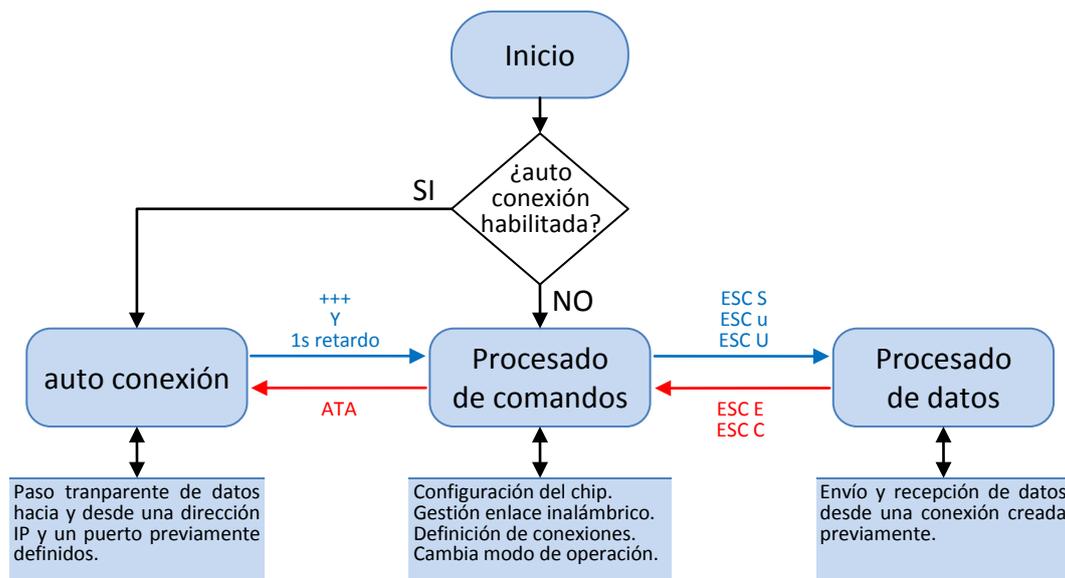


Figura 13. Modos de funcionamiento

Por último, tenemos el modo de funcionamiento auto conexión, en este modo el chip intenta conectarse a una red cuyos datos han sido introducidos previamente. Si consigue conectarse a la red establece una conexión TCP o UDP siguiendo los parámetros de configuración previamente introducidos. Si todo el proceso se realiza con éxito, a partir de ese momento los datos recibidos por el puerto serie son transmitidos a la red destino y los recibidos de la red destino enviados por el puerto serie. Pudiendo decir que la conexión se comporta de forma transparente.

Es precisamente este último, el modo auto conexión, el que se pretende utilizar para la realización del presente proyecto. Al comportarse de modo transparente, una vez conectado no es necesario entrar en la configuración de las conexiones de forma dinámica, lo que simplifica considerablemente el desarrollo y la depuración de las aplicaciones en la parte del dispositivo móvil.

3.2.3 Comandos AT

A continuación se presentarán un subconjunto de órdenes de todas las disponibles en el chip; en esta selección se han incluido aquellas que se han considerado imprescindibles para la configuración previa de los parámetros necesarios para el funcionamiento en modo auto conexión, así como las que permiten el cambio de modo, o funciones básicas para la configuración del chip. Se ha hecho hincapié en los parámetros de configuración concretos utilizados para el proyecto, para una guía completa de la ordenes se deberá consultar el manual del chip (Laird Technologies, 2011), que se ha adjuntado como Anexo en formato electrónico.

Los comandos utilizados son comandos Hayes; este lenguaje fue desarrollado originariamente para la configuración y parametrización de módems por la compañía *Hayes Communications*. Comúnmente son conocidos como comandos AT, ya que son una cadena que comienza por los caracteres ASCII "AT...".

3.2.3.1 Comandos y funciones básicas de configuración del chip

Comando	Descripción	Respuesta
ATEn	Si se activa el modo "echo" el chip retorna la orden que recibe además de la respuesta. n=1 activa y n=0 inactiva	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>
ATVn	Si se activa el modo "Verbose" el chip responde en modo texto inteligible para el humano.	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>
ATIn	Obtención de la información del chip tanto hardware como software. n=0 Fabricante original, n=1 versión hardware y n=2 versión software.	n=0 → GainSpan<CR><LF> n=1 → GS1011<CR><LF> n=2 → 2.2.10<CR><LF>
AT+DGPIO= <GPIO-NO>, <SET/RESET(0/1)>	Establece el valor de la salida de propósito general GPIO-NO a nivel alto o bajo en función del valor del parámetro SET/RESET. Solo disponible con GPIO 10, 11, 30 y 31.	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>
AT&Wn	Almacena los parámetros de la configuración actual en el perfil n.	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>
AT&V	Muestra tanto la configuración actual como la configuración almacenada en los perfiles 0 y 1.	ACTIVE PROFILE<CR><LF> ... STORED PROFILE 0<CR><LF> ... STORED PROFILE 1<CR><LF> ... OK<CR><LF>

3.2.3.2 Comandos de configuración del modo auto conexión

Comando	Descripción	Respuesta
AT+WAUTO= <mode>, <SSID>,<BSSID>, [channel]	Mediante este comando se configuran los parámetros de la conexión inalámbrica del perfil actual, que se utilizaran al entrar en modo auto conexión. Parámetros utilizados: 0 para modo infraestructura, y el identificador de la red el SSID. (resto opcionales)	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>
AT+NAUTO= <Type>, <Protocol>, <DestinationIP>, <Destination Port>	Mediante este comando se configuran los parámetros de red del perfil actual, que se utilizaran al entrar en modo auto conexión. Parámetros utilizados: Type=1 para que actúe de servidor, Protocol=1 para que el servidor sea TCP, la IP destino no es necesaria ya que funcionará como servidor, y por último el numero de puerto en que estará escuchando el servidor.	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>
ATCn	n=1 para habilitar el modo auto conexión y n=0 para deshabilitarlo.	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>
ATA	Hace pasar al módulo al modo auto conexión. Ver figura 13. Utilizando los parámetros fijados con las dos órdenes anteriores.	IP SubNet Gateway <CR><LF> 192.168.80.110: 255.255.255.0: 192.168.80.1<CR><LF> OK<CR><LF>

3.2.3.3 Comandos de configuración de red

Comando	Descripción	Respuesta
AT+WM=n	Selección del modo en que funcionará el módulo inalámbrico. Los valores del parámetro n 0, 1 y 2 activan el modo infraestructura, el modo ad hoc y el modo punto de acceso respectivamente.	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>
AT+WS	El módulo realiza un escaneo de todas las redes disponibles.	BSSI DSSID Channel Type RSSI Security<CR><LF> 00:22:6b:56:06:00, FC2012JFF, 07, INFRA, -24, NONE<CR><LF>
AT+WA=<SSID>	En modo infraestructura al ejecutar este comando el módulo trata de conectarse a la red cuyo identificador es SSID.	- Si la conexión se realiza IP SubNet Gateway <CR><LF> 192.168.80.110:255.255.255.0: 192.168.80.1<CR><LF> OK<CR><LF> - Si no es posible ERROR<CR><LF>
AT+WAUTH=n	El parámetro n=1 indica que el modo de autenticación es sin clave.	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>
AT+WSEC=n	El parámetro n=1 indica que el modo de seguridad es sin clave.	Si la transmisión es correcta OK<CR><LF>

3.3 Diseño de la tarjeta

A continuación se muestra el diagrama esquemático completo de la tarjeta, para pasar a describir después cada uno de los bloques en que se ha dividido.

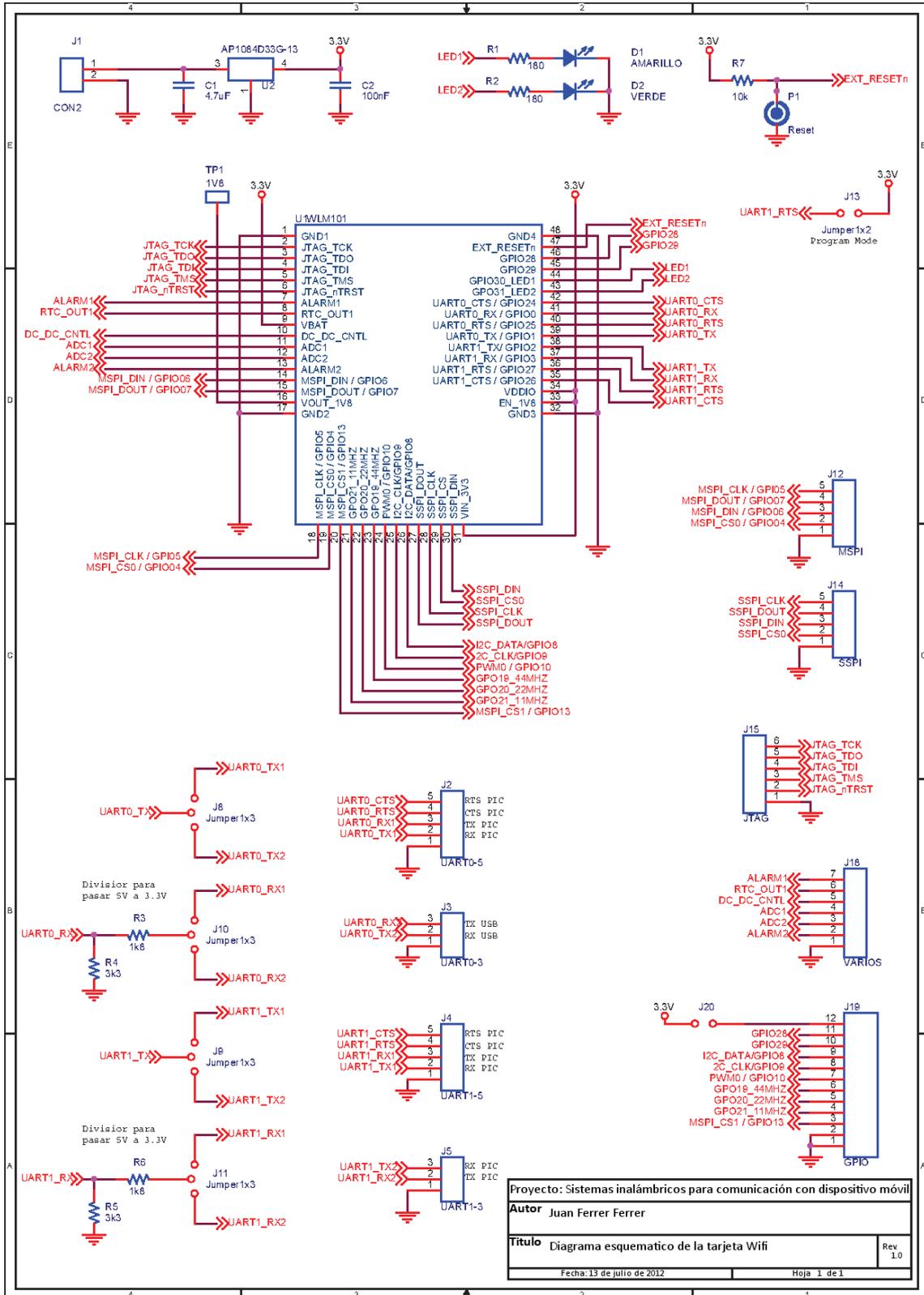


Figura 14. Diagrama esquemático de la tarjeta Wifi

3.3.1 Circuito de alimentación

El circuito de alimentación, ver figura 15, ha sido diseñado de forma que la tarjeta pueda ser alimentada con una fuente externa de entre 12 y 4,7 voltios a través del conector J1. Esto se consigue mediante la utilización del regulador de tensión AP1084D33G-13 de la empresa Diodes, cuyo manual se ha adjuntado como Anexo en formato electrónico.

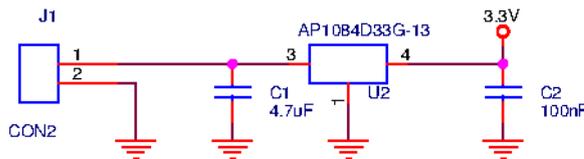


Figura 15. Circuito de alimentación

3.3.2 Circuito de reinicio o "reset"

Mediante este circuito se permite el reinicio de la tarjeta, ya que en ocasiones resultará necesario reiniciarla de forma independiente del microprocesador al que ofrece la conexión inalámbrica. El circuito consiste en una resistencia y un pulsador que conecta a masa la patilla correspondiente del chip. Ver figura 16.

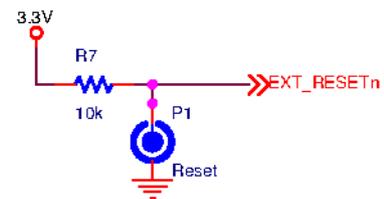


Figura 16. Circuito de "reset"

3.3.3 LEDs

Utilizando las dos salidas de propósito general etiquetadas como GPIO30_LED1 y GPO31_LED2, capaces de soportar una corriente de 20 mA tanto de entrada como de salida, se han instalado dos LEDs que servirán como indicadores de salida para la tarjeta. Facilitando las labores de depuración y programación, al tener una salida directa, e independiente del canal de comunicación serie.

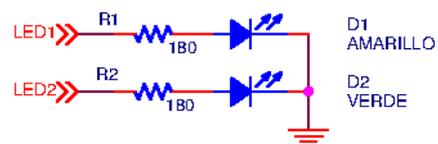


Figura 17. LEDs

3.3.4 Circuito de programación

Este pequeño circuito permite reprogramar la memoria flash del chip, permitiendo salir del modo de ejecución y entrar en el modo de programación.

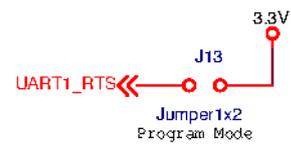


Figura 18. Circuito de programación

3.3.5 Conexiones SPI

Para las conexiones SPI se han utilizado dos conectores de cinco pines etiquetados como MPSI Y SSPI.

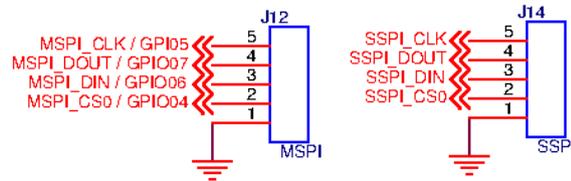


Figura 19. Conexiones SPI

3.3.6 Conexión JTAG

JTAG fue diseñado para el test de circuitos impresos, aunque actualmente se utiliza para la prueba de submódulos de circuitos integrados, así como mecanismo de depuración de aplicaciones empotradas.

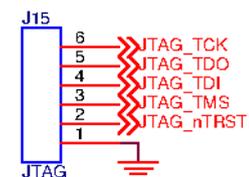


Figura 20. Conexión JTAG

3.3.7 Conexiones UART

UART proviene del acrónimo inglés “*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*”, el WLM101 dispone concretamente de dos bloques UART cuyas salidas vienen etiquetadas como UART0 y UART1, que siguen el estándar de comunicación serie asíncrono, con compatibilidad 16450/16550. Dispone de las dos líneas de datos RX y TX, para recepción y transmisión respectivamente. Así como, la opción de control de la comunicación mediante las líneas de señalización RTS y CTS.

Para permitir la utilización de esta doble opción se ha optado por duplicar los conectores asociados a cada UART. De esta forma para cada comunicación UART del chip dispondremos de un conector de tres pines y otro de cinco. El primero de ellos para una comunicación sin control de flujo y el segundo que incluirá este control. El uso de los conectores es excluyente, es decir, no pueden ser utilizados de forma simultánea. Para ello se ha diseñado un sistema de selección mediante “*jumpers*”, que permiten la activación de uno, u otro. Ver figura 21.

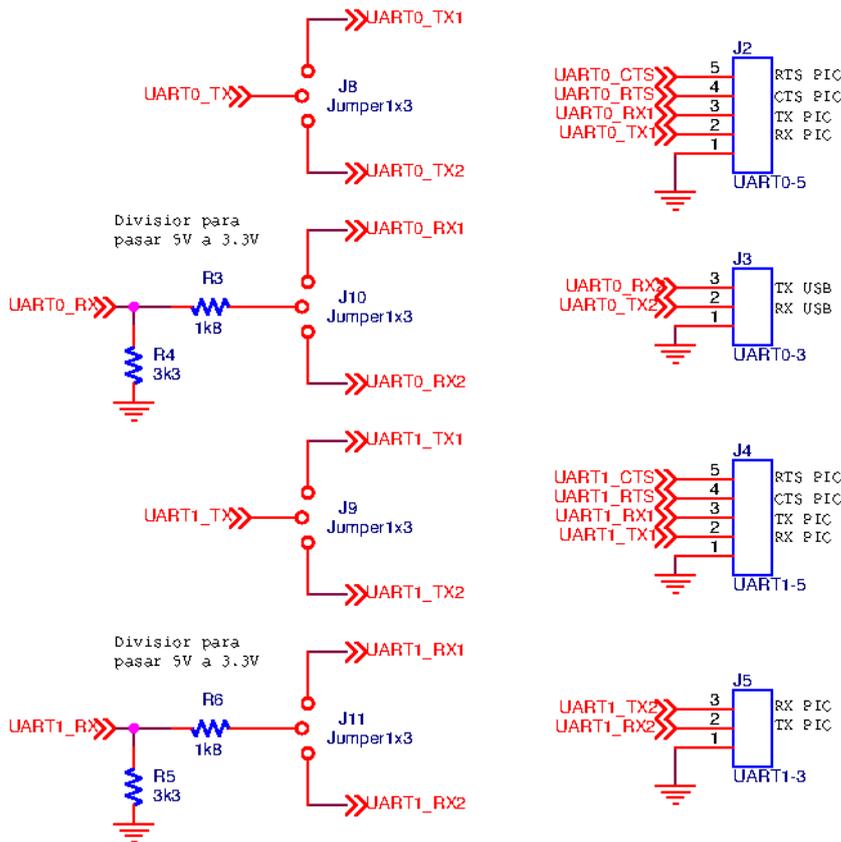


Figura 21. Conexiones UART

Los niveles de tensión lógicos del WLM101 van de 0 a 3.3 voltios, sin embargo los niveles del microcontrolador podrían ser compatibles o de 0 a 5 voltios. Para dotar de una mayor versatilidad a la tarjeta se ha optado por introducir un divisor resistivo en la línea de recepción de datos que permita reducir la tensión de 5v a 3.3v. No siendo necesario en la línea de transmisión.

De esta forma, es posible conectar dispositivos con niveles de 5v. Para conectar un dispositivo de 3.3v basta con eliminar el divisor, en el caso concreto de la UART0 bastaría con eliminar la resistencia etiquetada como R4 y puentear la R3. Para el caso de la UART1 se procedería de forma análoga con las resistencias R5 y R6.

3.3.8 Conector GPIO

En este conector se han agrupado todas aquellas conexiones de entrada-salida de propósito general que aun no se habían asignado a ningún conector.

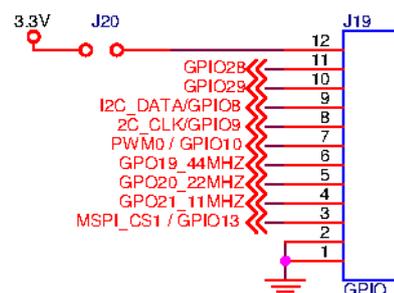


Figura 22. Conector GPIO

3.3.9 Conector VARIOS

En este conector se han agrupado todas aquellas conexiones del chip que previamente no se habían asignado. Como las alarmas de entrada asíncronas para despertar al chip o las entradas de los convertidores analógicos-digitales.

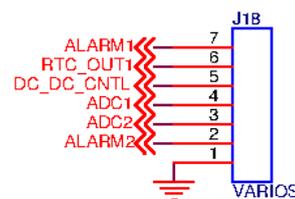


Figura 23. Conector VARIOS

3.3.10 Disposición del patillaje o "footprint"

La mayoría de los componentes utilizados en el diseño de la placa se encuentran en las librerías disponibles en OrCAD. Para los que no están disponibles es necesario crear la librería concreta en que se defina el patillaje del componente y el espacio que ocupa el mismo. El caso más claro es el del WLM101 que no está disponible y ha sido creado utilizando la herramienta Library Manager del OrCAD Layout. En la figura 24 se muestra una vista superior del "footprint" del componente, realizado siguiendo las indicaciones del manual (Laird Technologies, 2011).

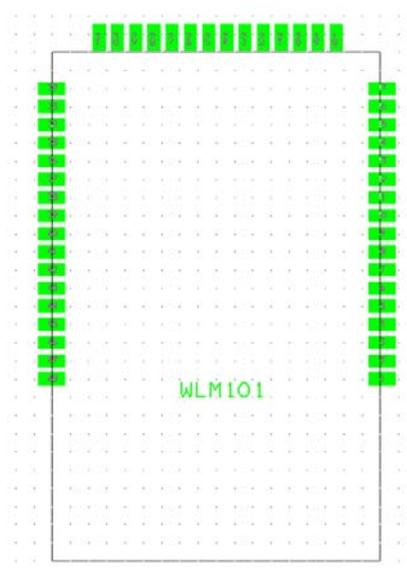


Figura 24. Patillaje o "footprint"

3.3.11 Circuito impreso

Para la construcción del circuito impreso se ha optado por una de cristal epóxico FR4 de 1.6 milímetros. Dada la gran cantidad de pistas que hay que realizar se ha escogido una placa de doble cara, de esta forma se podrán realizar los cruces necesarios mediante cambios de cara.

En la cara que denominaremos superior, se han ubicado todos los conectores y el resto de elementos que pueden necesitar manipulación, como "jumpers" y pulsadores. También, se han ubicado en esta cara los LEDs.

En la cara inferior se ha ubicado principalmente el chip, quedando así protegido de posibles golpes.

En ambas caras se ha mantenido un plano de masa en toda la tarjeta para reducir interferencias electromagnéticas. En la zona de la antena del chip se ha eliminado el plano de masa para permitir una correcta emisión-recepción por parte de ésta, manteniendo el soporte de fibra de vidrio de la placa para no dejar la zona expuesta a golpes.

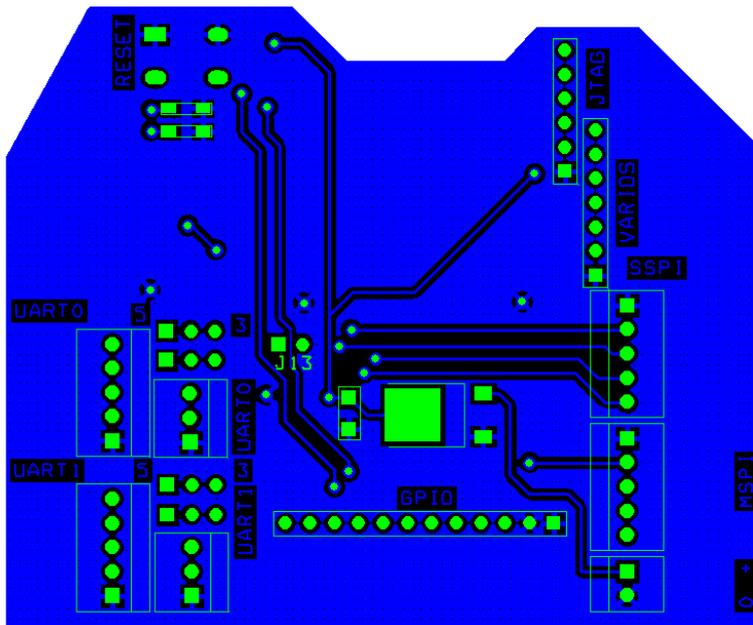


Figura 25. Tarjeta cara superior

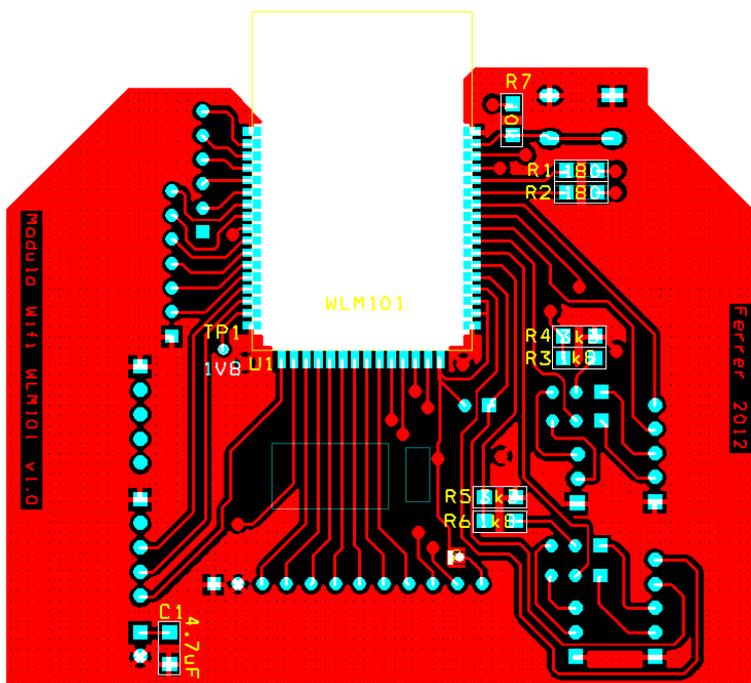
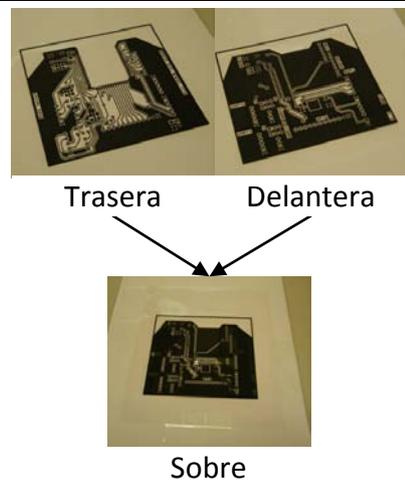


Figura 26. Tarjeta cara inferior

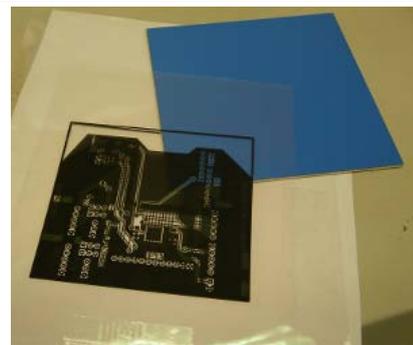
3.4 Construcción de la tarjeta

El proceso que se ha seguido para la construcción de la tarjeta va a ser explicado mediante una secuencia de pasos acompañados de imágenes.

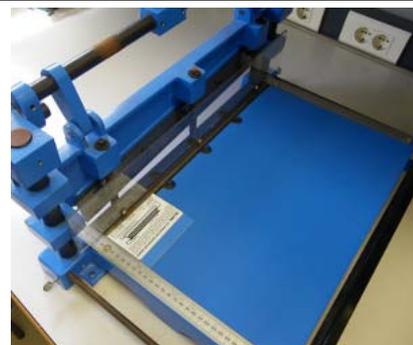
El primer paso para la construcción de la tarjeta es la impresión de los circuitos sobre un soporte transparente. Para ello se utiliza un papel transparente apto para impresora laser, con el que se obtiene una mayor resolución y mejores resultados que con la utilización de papel vegetal. Una vez impresas las dos caras se confecciona un sobre pegando ambos soportes transparentes entre sí, haciendo coincidir perfectamente los contactos correspondientes a ambas caras.



Se deben pegar tres de los lados dejando uno libre por el que introducir la placa virgen para su revelado. Previamente la placa se debe recortar al tamaño deseado.



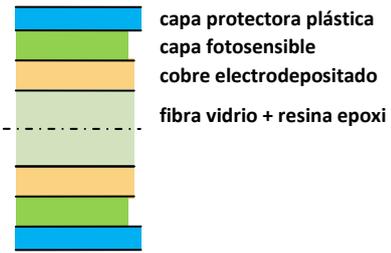
Para recortar la placa se ha utilizado una guillotina especial para corte de placas de circuito impreso, capaz de cortar láminas de metal o aluminio de hasta 1.5 o 2.0 milímetros respectivamente. Esta guillotina también se puede utilizar para cortar las etiquetas o las láminas plásticas utilizadas para los paneles frontales.



El siguiente paso es transferir el diseño del circuito de los transparentes a la placa virgen. Para ello se utiliza una insoladora de rayos ultravioleta de doble cara, que actuará sobre la capa foto sensible de la placa virgen. A continuación se muestra la estructura de capas de la placa virgen.



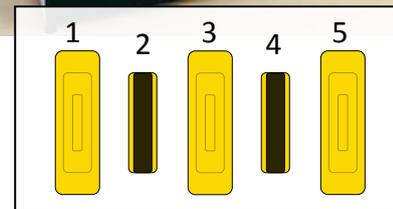
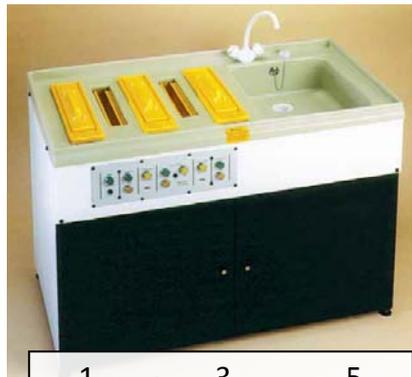
Desde fuera hacia dentro nos encontramos primero con una capa protectora plástica cuya misión es proteger la siguiente capa, la capa fotosensible de los rayos ultravioletas. La tercera capa es la capa de cobre, y por último, la cuarta capa formada por fibra de vidrio impregnada de resina epoxi que sirve de soporte físico a todas las anteriores. Para la segunda cara se repite la estructura de capas de forma simétrica.



Se retiran las dos capas protectoras y se introduce la placa dentro del sobre formado por los transparentes. El conjunto se introduce dentro de la insoladora, que al cerrarla realizará el vacío; de esta forma los transparentes de ambas caras quedarán en contacto con la superficies de cada cara permitiendo una correcta transferencia. El tiempo de exposición programado es de 160 segundos.



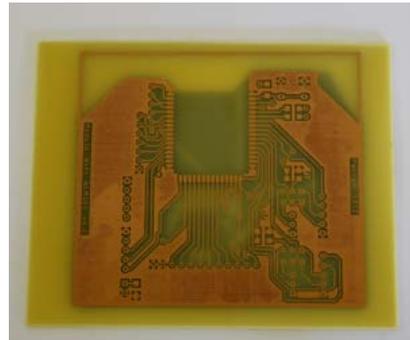
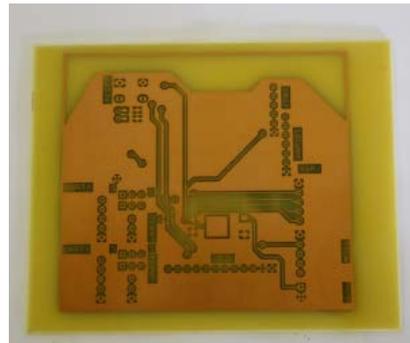
Para el revelado y atacado de la placa se ha utilizado la unidad de procesamiento para placas de circuito impreso "PCB 500S Labstation" de la casa comercial Mega. Ésta consta de 5 cubetas, numeradas de la 1 a la 5 en el gráfico. La cubeta 1 contiene una disolución de 10 gramos de sosa caustica por litro de agua. La cubeta 3 contiene una disolución de cloruro férrico que es la encargada de realizar el ataque químico del cobre. La cubeta número 5 se utiliza para aplicar un baño protector para evitar la corrosión del cobre. Las cubetas 1, 3 y 5 están calefactadas permitiendo aumentar la temperatura del baño. Las cubetas 2 y 4 son cubetas de lavado para evitar contaminar los baños.



En la cubeta 1 se produce el revelado, es decir, la solución de sosa ataca la capa fotosensible. Más concretamente elimina la capa fotosensible que ha sido expuesta a los rayos ultravioleta. Dejando el cobre de estas zonas expuesto para que en la siguiente etapa pueda ser atacado. El tiempo de revelado utilizado ha sido de 1,5 minutos.

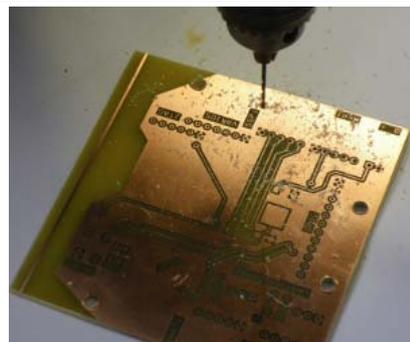


Tras lavar la placa en la cubeta 2 pasa a la 3 para la fase de atacado. En esta fase el cloruro férrico ataca químicamente el cobre expuesto en la fase de revelado. Para mejorar el ataque se ha utilizado la opción de temperatura del baño y se ha activado el flujo de burbujas de aire de la cubeta, acelerando así el proceso de atacado. Por último, se realiza un lavado en la cubeta 4. La cubeta 5 de baño protector anti óxido no se ha utilizado. A la derecha se muestran la cara superior y la cara inferior de la placa una vez atacada por el cloruro férrico.



El tiempo de atacado es variable, se ha de ir contralando como va eliminándose el cobre y finaliza en el momento en que se ha eliminado todo el cobre sobrante.

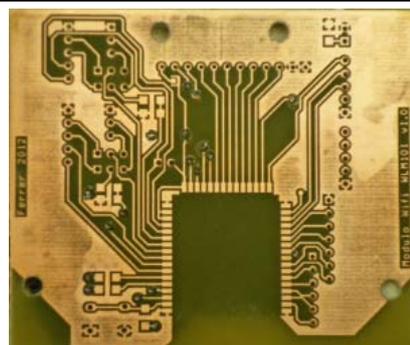
El siguiente paso es realizar los taladros necesarios para poder soldar los componentes electrónicos del circuito. Cada taladro se realiza con una broca del diámetro adecuado en función del tipo de patilla del componente a soldar.



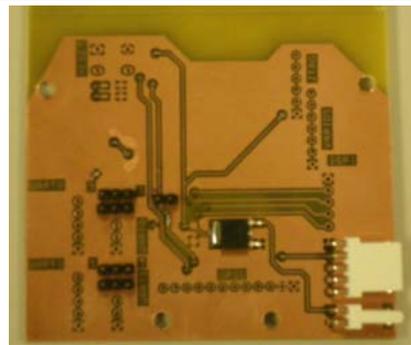
A continuación para soldar los componentes se ha utilizado un equipo de soldado, estaño y un aditivo líquido para soldadura denominado flux. Éste facilita la soldadura al reducir la tensión superficial del estaño fundido, además de servir de protector frente a futuras oxidaciones de la soldadura.



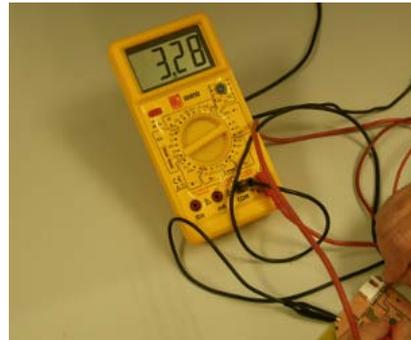
Se ha comenzado por realizar las soldaduras necesarias para los cambios de cara, insertando un hilo de cobre en el taladro pasante y soldando por ambas caras.



A continuación, se han soldado los “jumpers” y el circuito de alimentación.



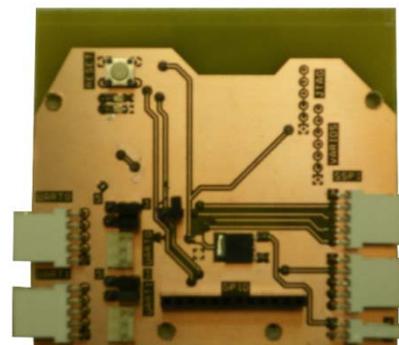
Conectado el circuito de alimentación a una fuente externa de corriente continua, se comprueba que funciona correctamente, y que la tensión de salida suministrada por el regulador es la esperada.



Una vez comprobado el circuito de alimentación se procede a soldar el chip. Para ello se sitúa sobre la placa asegurándose que coinciden todas las patillas y se sueldan 4 patillas una de cada esquina. Se vuelve a comprobar que la posición es correcta una vez fijado y se procede a soldar todas las patillas.



Una vez soldado el chip se procede a soldar el resto de componentes. El pulsador y las resistencias del circuito de reinicio. Los LEDs y sus resistencias. Y por último, el resto de conectores: UART0-5, UART0-3, UART1-5, UART1-3, MSPI, SSPI y GPIO. Los conectores JTAG y VARIOS no han sido soldados ya que no está prevista su utilización de manera inmediata.



3.5 Pruebas y configuración

Llegados a este punto del proyecto en que ya se ha montado la tarjeta y se han realizado las pruebas eléctricas necesarias es necesario realizar pruebas funcionales de la misma, así como configurar los parámetros de la tarjeta en función del uso que se hará de ella. Para ello se utilizará el esquema de depuración planteado en la figura 2 y se utilizarán las herramientas de test y monitorización descritas en el apartado de materiales y métodos.

3.5.1 Encendido de LEDs

La primera prueba que se ha realizado es un ejemplo sencillo equivalente a un “Hola mundo” utilizando las funciones disponibles en la tarjeta para gestionar los LEDs. De este modo, verificaremos de una forma sencilla que el chip recibe órdenes y responde a ellas. Se trata de encender los LEDs etiquetados como D1 y D2 que están controlados por las salidas de propósito general del chip etiquetadas como GPIO30_LED1 y GPIO31_LED2 respectivamente. Por simplicidad, la explicación completa se realizará sólo para el conectado a la salida GPIO30_LED1, pero la forma de proceder con el otro ha sido exactamente la misma que para éste.

Utilizando el programa Docklight se han creado las funciones de envío LED_30_On y LED_30_Off que enviarán los comandos AT, AT+DGPIO=30,1<CR> para encender y AT+DGPIO=30,0<CR> para apagar el LED respectivamente.

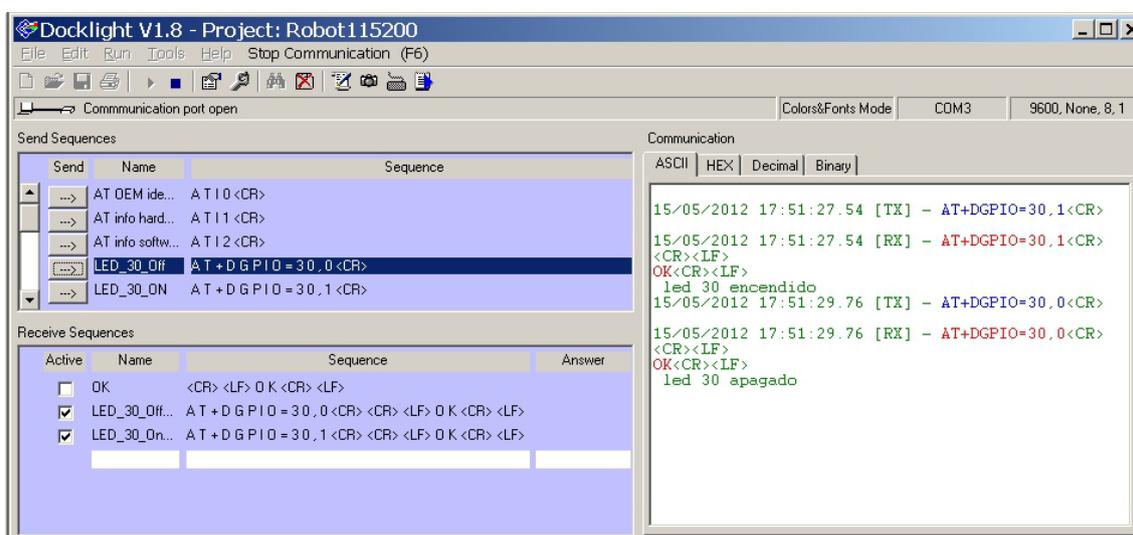


Figura 27. Encendido de LEDs en Docklight

De igual forma, se han definido las funciones de recepción LED_30_On_Ok y LED_30_Off_Ok, que estando activo el modo “Echo” y el modo “Verbose”, analizan la respuestas, y en caso de que el LED se haya encendido o apagado de forma correcta, se muestra un mensaje en la ventana de comunicación. En este caso, se ha programado un mensaje pero existen otras posibilidades, que son que responda con otra de las órdenes definidas previamente o que detenga la comunicación.

De forma análoga, se han definido otras cuatro funciones para el control del otro LED.

3.5.2 Configuración software del modo auto conexión

Es este punto se describirán las órdenes básicas que se han utilizado para conseguir la configuración del chip en modo auto conexión, pero antes se procederá a describir brevemente cómo se realizará la conexión y las características de la misma.

En primer lugar hay que decidir el tipo de red con que se quiere trabajar, ya que la tarjeta Wifi permite establecer conexiones, tanto con redes “ad hoc”, como con redes de tipo infraestructura. Tras unas pruebas preliminares, se decide utilizar el tipo infraestructura. Pese a que se sale del ámbito del proyecto y de las necesidades del mismo, permite un abanico mucho mayor de opciones y configuraciones, que aun siendo parcialmente utilizadas se han considerado de interés. Para el proyecto se utilizará una configuración de direcciones IP locales fijas, y para establecer la red Wifi se ha utilizado un router inalámbrico Linksys modelo WRT54GL.

La tarjeta wifi dentro del modo auto conexión permite diferentes maneras para establecer la conexión, ésta se puede establecer utilizando el protocolo TCP o el UDP. También permite que la tarjeta ejerza tanto de cliente como de servidor a la hora de establecer la conexión. La configuración elegida para la tarjeta es Servidor TCP, siendo el dispositivo móvil el que permanecerá a la escucha para que se conecte un cliente. De esta forma se simplifica la aplicación del lado de la estación base, sin incrementar excesivamente la complejidad en la configuración del sistema.

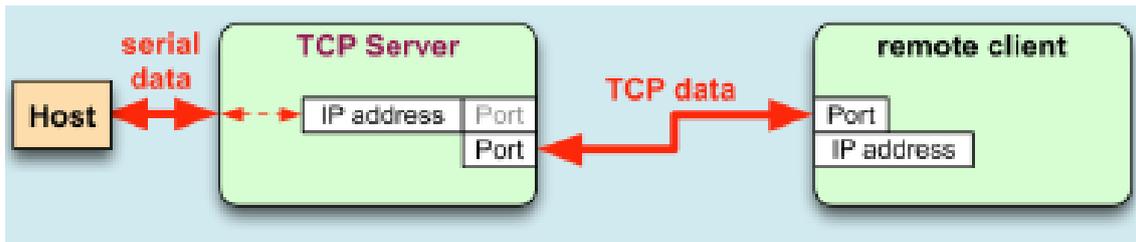


Figura 28. Configuración TCP

A continuación, se describirán las órdenes utilizadas para la configuración del modo auto conexión, esta configuración se realiza desde el modo de procesado de comandos. El orden de introducción de los comandos es indiferente, ya que cada comando modifica unos parámetros determinados de la configuración almacenada en memoria, pero no serán utilizados hasta que se cambie a modo auto conexión.

Esta regla general tiene una excepción, la orden AT&W0, encargada de guardar los valores introducidos en el perfil 0; esta orden lógicamente debe ser introducida en último lugar, ya que solo almacena aquellos parámetros que se han introducido antes de su ejecución.

Pese a que los comandos no necesitan ser ejecutados en un orden preestablecido, se presentarán en un orden que se ha considerado lógico, formando grupos de comandos para facilitar su comprensión.

3.5.2.1 Configuración de parámetros generales

En este grupo se han incluido comandos que configuran parámetros comunes al modo de auto conexión y a otros modos.

Paso 1. Modo de autenticación y seguridad

Los comandos:

AT+WAUTH=1<CR>

AT+WSEC=1<CR>

Ambos con valor 1 indican que la seguridad y la autenticación del modulo están abiertas, es decir, no hace falta ningún tipo de clave de seguridad para acceder a él. Se

ha elegido este modo por simplicidad para una configuración básica y por no considerarse necesario un alto grado de seguridad. Para introducir parámetros de seguridad bastaría con modificar el parámetro de esta orden y utilizar otras para introducir las contraseñas de acceso a la red, que recordemos que con la configuración actual es externa. Por tanto, habría que reconfigurar la seguridad del router.

Paso 2. Configuración de la red

```
AT+NSET=192.168.80.110,255.255.255.0,192.168.80.1<CR>
```

Mediante este comando se realiza la configuración básica de la red, como se mencionó anteriormente se utilizará una configuración de direcciones IP locales fijas. Es al ejecutar este comando cuando se asigna la dirección IP local 192.168.80.110, así como la máscara de red. El tercer parámetro, 192.168.80.1, la puerta de enlace es la dirección que permitiría conexiones con otras redes, opción no utilizada durante el proyecto. Esta opción aumenta notablemente la versatilidad del sistema ya que permite aplicaciones a distancia no limitadas al alcance de las antenas Wifi, el dispositivo móvil tendría que estar dentro del alcance de una antena Wifi pero si está conectada a internet, el otro extremo de la conexión podría estar al otro lado del mundo.

3.5.2.2 Configuración de parámetros del modo auto conexión

Paso 1. Parámetros de conexión inalámbrica

```
AT+WAUTO=0,PFC2012JFF,,<CR>
```

Con este comando indicamos que al entrar en modo auto conexión debe establecer una conexión a una red en modo infraestructura, cuyo nombre es "PFC2012JFF", esto viene indicado en los parámetros 1 y 2 de la orden. Los otros parámetros no son necesarios.

Paso 2. Parámetros de configuración de red

```
AT+NAUTO=1,1,,35000<CR>
```

Con este comando configuramos los parámetros de red del perfil actual; el parámetro primero indica que al entrar en modo auto conexión se creará un servidor que quedará a la espera de clientes, el segundo parámetro indica que el servidor utilizará el protocolo de comunicación TCP. El tercer parámetro que correspondería con la IP destino por tratarse de un servidor no tiene sentido, mientras que el cuarto parámetro indica que el servidor permanecerá a la escucha en el puerto 35000.

Paso 3. Habilitar modo auto conexión

ATC1

Mediante este comando, con el valor 1, se indica que se habilita el modo auto conexión. De esta forma cuando se reinicie la tarjeta, ésta entrará automáticamente en modo auto conexión.

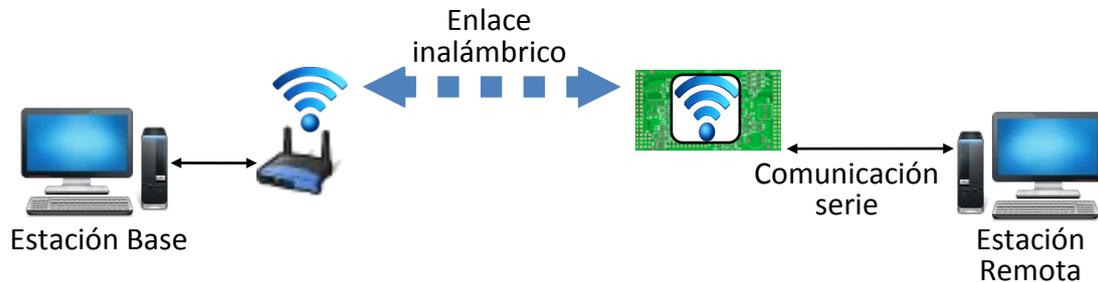
3.5.2.3 Salvado de parámetros introducidos

Por último, tal y como se ha indicado anteriormente hay que ejecutar el comando para guardar los valores introducidos. Los parámetros que se han ido introduciendo se modifican en el perfil actual en memoria volátil, de forma que se perderían al reiniciar la tarjeta. Por defecto, al encender la tarjeta los valores almacenados en el perfil 0 son cargados en el actual y comienza la ejecución; es por esto que hay que almacenar los valores del perfil actual en el perfil 0 como último paso, de forma que estos serán cargados al reiniciar y tendrán el efecto deseado. La orden AT&W0 es la encargada de realizar esta copia a memoria, concretamente al perfil 0.

3.6 Funcionamiento en modo auto conexión

Al arrancar la tarjeta en modo auto conexión intentará conectarse a la red especificada y una vez conseguido arrancará el servidor TCP que quedará a la escucha en el puerto 35000, esperando que se conecte un cliente. Una vez conectado el cliente, tanto la conexión TCP, como el enlace inalámbrico son transparentes para los extremos. Los datos serie que se introducen por la interfaz serie de la tarjeta son recibidos por el cliente y viceversa.

El esquema utilizado es el presentado en la figura 2 al principio del documento que se reproduce aquí de nuevo para comodidad del lector.



En la parte de la estación remota conectada mediante cable a la tarjeta wifi tenemos como software de trabajo el Docklight, es decir, el que hemos venido utilizando para las pruebas y configuración realizadas hasta el momento. Para la parte de la estación base hará falta un software capaz de conectarse a un servidor TCP haciendo el papel del cliente. Para ello se ha elegido el Hyperterminal que además de realizar conexiones a puertos serie permite trabajar con conexiones TCP.

Para ello en las propiedades del Hyperterminal hay que realizar una serie de configuraciones, más concretamente en la pestaña de Conectar a. El primer paso es en el desplegable “Conectar usando:” seleccionar la opción “TCP/IP (Winsock)”, en lugar de un puerto COM. Una vez seleccionada esta opción cambian el resto de parámetros de configuración quedando únicamente dos, Dirección del host y Número de puerto. En estos parámetros se debe introducir la dirección IP que se ha asignado a la tarjeta y el número de puerto de escucha del servidor TCP, es decir, 192.168.80.110 y 35000 respectivamente según los valores antes introducidos.

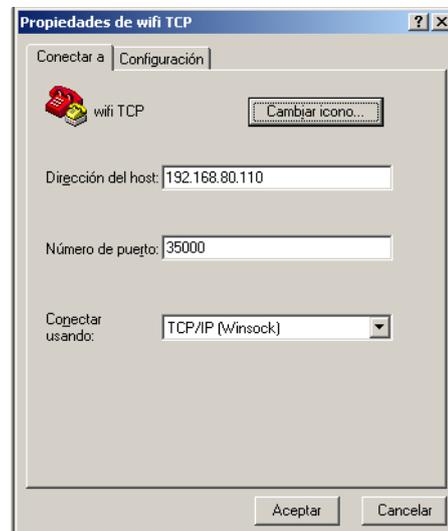


Figura 29. Configuración TCP Hyperterminal

Una vez realizadas todas las configuraciones necesarias solo queda realizar la prueba final. Para poder monitorizar el proceso y disponer de un mayor control no se ha habilitado el modo auto conexión con la orden ATC1, en su lugar se ha hecho ATC0 para deshabilitarlo, pero sí se han introducido el resto de órdenes. De esta forma al reiniciar estarán cargados todos los parámetros pero se iniciará nuevamente en modo de procesado de comandos.

Desde el modo de procesado de comandos se puede cambiar a modo auto conexión utilizando la orden ATA.

```
21/07/2012 14:08:42.15 [TX] - ATA<CR>
21/07/2012 14:08:42.16 [RX] - ATA<CR><LF>
      IP          SubNet      Gateway  <CR><LF>
192.168.80.110: 255.255.255.0: 192.168.80.1<CR><LF>
OK<CR><LF>
```

Utilizando el Docklight se ejecuta el comando y si se ha podido realizar la conexión a la red devuelve la información la IP con que se ha conectado, la subred y Puerta de enlace y el mensaje OK. Ver Figura 30.

Figura 30. Conexión a la red

Una vez realizada la conexión a la red y ya creado el servidor TCP podemos arrancar el programa del otro extremo, es decir, el Hyperterminal para que cree la parte del cliente que se conectará al servidor. Al ejecutar éste, el Docklight recibe un mensaje de conexión, que indica la IP y el puerto del cliente.

```
21/07/2012 13:30:16.93 [RX] - <CR><LF>
CONNECT 0 1 192.168.80.10 1043<CR><LF>
```

Figura 31. Conexión cliente TCP

Llegados a este punto ya está establecida totalmente la conexión de modo que los caracteres enviados por un extremo se recibirán en el otro y viceversa. Como ejemplo se enviara el mensaje “Hola mundo!” desde el terminal y se contestara “Hola!” desde Docklight. A continuación, en la figura 32 se muestran las capturas de pantalla de ambos programas durante el envío de mensajes. Cabe mencionar que el Hyperteminal está configurado para no mostrar los caracteres que se envían, mientras que Docklight si que muestra cada carácter en una línea. Esto puede ser modificado al gusto del usuario.

```
Hola mundo!<CR>
21/07/2012 13:30:44.82 [TX] - H
21/07/2012 13:30:45.19 [TX] - o
21/07/2012 13:30:45.43 [TX] - l
21/07/2012 13:30:45.64 [TX] - a
21/07/2012 13:30:48.38 [TX] - |
```

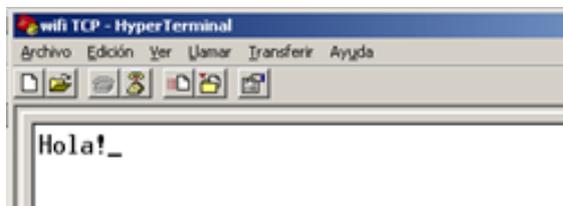


Figura 32. Comunicación establecida

3.7 Aplicaciones de la tarjeta

Pese a la sencillez del ejemplo, limitado al envío de mensajes de texto entre dos PCs, las aplicaciones de la tarjeta conectada a un dispositivo móvil microcontrolado son innumerables. La utilización del interfaz serie hace que la cantidad de dispositivos conectables sea grande, y desarrollando el software necesario a los dos extremos de la conexión, tanto en el extremo del microcontrolador como en el extremo de la estación base, posibilita que las posibilidades sean casi infinitas. Pudiendo ir desde el telecontrol a la sensorización. Introduciendo variaciones en la topología aumentan más aun las posibilidades, pudiéndose adoptar esquemas de comunicación entre dos dispositivos microcontrolados, o incluso establecer una red interconectada de ellos.

Un candidato claro para instalar la tarjeta, ejemplo arquetípico de dispositivo microcontrolado, es un robot. La comunicación en este caso puede ser utilizada para enviar ordenes al robot, o para recibir información captada por los sensores del robot, o incluso modificar la programación del mismo.

IV Conclusiones

Realizado un estudio de las tecnologías inalámbricas disponibles en el ámbito de los dispositivos móviles microcontrolados y los PC, para este proyecto finalmente se ha seleccionado la tecnología Wifi ateniendo a sus características y la versatilidad que ofrece.

El PC acompañado de un sencillo hardware y de un pequeño software se convierte en una potente herramienta de test, depuración y simulación en el campo de los dispositivos microcontrolados. La elección del interfaz serie ha sido la que ha permitido una interconexión sencilla con el PC.

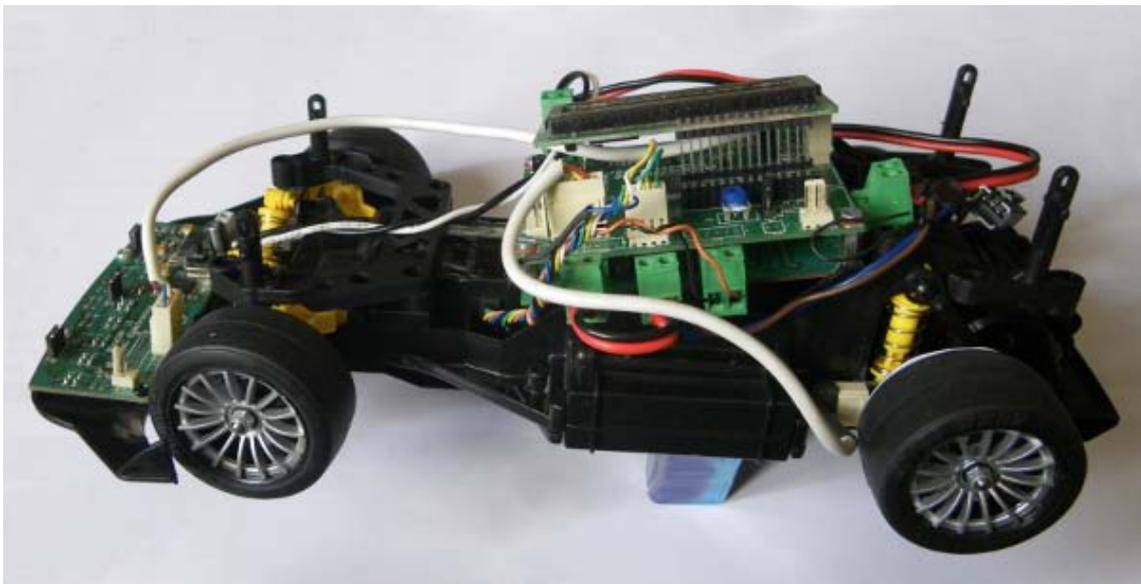
Estudiadas las diferentes opciones disponibles en el mercado finalmente se ha elegido el chip WLM101 de la empresa Laird Technologies, esta elección ha implicado el diseño y construcción de una tarjeta destinada a albergar el citado chip.

Una vez implementada la tarjeta y realizadas las pruebas se puede concluir que el diseño de la misma ha sido correcto y más que satisfactorio, cumpliendo con creces las expectativas.

El presente proyecto ha supuesto un esfuerzo de integración de un amplio abanico de los conocimientos recibidos durante la carrera, unificando enseñanzas tanto software como hardware.

V Trabajos futuros

Como trabajo futuro se propone la instalación en un robot de la tarjeta Wifi construida. El robot fue construido en el taller titulado "Speed Runner", perteneciente al área CampusBot de la Campus Party del año 2006. El taller estaba orientado a montar y programar un robot velocista. La estructura del robot se basa en un coche teledirigido al que se le sustituyó el telecontrol por una tarjeta de control basada en un microcontrolador, y se le añadieron sensores capaces de detectar una línea.



El microcontrolador de la tarjeta de control es un dsPIC30F6010A, un procesador RISC con arquitectura HARVARD de 16bits (16 bits para los datos y 24 bits para las instrucciones) capaz de ejecutar una instrucción por ciclo máquina y llegar a los 30 MIPS de velocidad de proceso. El procesador tiene una CPU optimizada para trabajar con el código ensamblador generado por un compilador de lenguaje C. Dispone de 144 Kbytes de memoria FLASH interna para el programa, 8 Kbytes de memoria RAM para los datos y 4 Kbytes de memoria no volátil EEPROM para constantes que se puedan modificar por programa. Es capaz de controlar hasta 8 canales de PWM con salidas independientes o complementarias con una base de tiempos dedicada, con la posibilidad de controlar la polaridad de las salidas, la generación de tiempos muertos, etc. También dispone de un módulo de detección de señales de encoder en cuadratura con un contador interno de 16 bits.

En cuanto a las conexiones, dispone de 2 interfaces UART que posibilitan la comunicación serie con un ordenador y con otros procesadores. Las UART tienen colas de datos FIFO internas para mejorar la recepción y transmisión. También dispone de 2 módulos de comunicación CAN, comunicación I2C y SPI.

Dado que uno de los interfaces UART se utiliza para la programación del robot, se propone conectar la tarjeta Wifi a través del otro, evitando así tener que desconectarla cada vez que haya que modificar el software del robot.

Una vez establecida una conexión Wifi básica del robot con un PC mediante emulación de un puerto serie, es decir, que la conexión Wifi sustituiría simplemente al cable, se pretende estudiar las diferentes posibilidades de conexión que ofrece el chip de la tarjeta Wifi. Esto facilitará la depuración del software del robot ya que se podrá trabajar indistintamente conectándolo, a través del cable o a través de Wifi. Disponiendo de las herramientas de monitorización de cable presentadas en el presente trabajo.

Como primera aproximación, se propone realizar el control a distancia del robot enviando desde la estación base qué acciones debe realizar éste, para ampliarlo con comunicación en el otro sentido recibiendo información del estado del robot: velocidad, sensores, etc.

Dadas las características que ofrecen tanto del robot como la tarjeta existen una gran cantidad de posibilidades y aplicaciones.

VI Bibliografía

AGG, 2012. *Advanced serial monitor*. [Online] Available at: <http://www.aggsoft.com/serial-port-monitor.htm> [Accessed 14 May 2012].

CommFront, 2012. *RS232 RS485 RS422 TTL Serial Analyzer Softwre*. [Online] Available at: <http://www.commfront.com/232default.htm> [Accessed 14 May 2012].

Docklight, 2012. *Docklight*. [Online] Available at: <http://www.docklight.de/> [Accessed 14 May 2012].

El Hombre Mecatrónico, 2010. *Configura la conexión Wifi de tu arduino*. [Online] Available at: <http://hombremecatronico.es/?p=247> [Accessed 21 June 2012].

Eltima, 2012. *Serial port monitor*. [Online] Available at: <http://www.eltima.com/products/serial-port-monitor/> [Accessed 14 May 2012].

Flachmann, M. & Heggelbacher, O., 2009. *Docklight Scripting V1.9 User Manual*. [Online] Available at: <http://www.docklight.de/manual/index.htm> [Accessed 15 May 2012].

HDD, 2007. *Free serial port monitor*. [Online] Available at: <http://www.serial-port-monitor.com/> [Accessed 14 May 2012].

Laird Technologies, 2011. *WLM10x User manual*. [Online] Available at: <http://www.lairdtech.com/WorkArea/linkit.aspx?LinkIdentifier=id&ItemID=2147484634> [Accessed 15 May 2012].

RF Solutions, 1996. *Hoja de especificaciones de LinkMatic 2.0*. [Online] Available at: http://www.rfsolutions.co.uk/acatalog/DS379-1_LinkMatik2.pdf [Accessed 20 June 2012].

Seed, 2012. *Grove - Serial Bluetooth*. [Online] Seed Available at: http://www.seedstudio.com/wiki/Grove_-_Serial_Bluetooth [Accessed 21 June 2012].

SerialMon, 2012. *SerialMon*. [Online] Available at: <http://www.serialmon.com/> [Accessed 14 May 2012].

Tektronix, 2006. *Manual técnico de analizadores lógicos*. [Online] Tektronix Available at: <http://www.afc-ingenieros.com/uploads/Afc/InfoTecn/AnalizLogicos/pdf/Manual%20t%C3%A9cnico%20de%20analizadores%20l%C3%B3gicos.pdf> [Accessed 10 May 2012].

Tektronix, 2011. *2011 Product Catalog. Test & measurements solutions*. [Online] Tektronix Available at: <http://www.afc-ingenieros.com/uploads/Afc/Productos/Tektronix/pdf/2011Catalogo%20de%20Tektronix%20-%20AFC.pdf> [Accessed 10 May 2012].