



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**DESARROLLO DE SOFTWARE  
PARA TRANSMISIÓN BLUETOOTH  
EN SENSORES WASPMOTE**

**Alumno: ANTONIO CÓRDOBA RUIZ**

**Tutor:** Prof. D. José Ángel Fernández Prieto  
**Depto.:** Ingeniería de Telecomunicación

Fdo. Antonio Córdoba Ruiz      VºBº José Ángel Fernández Prieto

**Junio, 2014**

# INDICE DE LA MEMORIA

1. RESUMEN .....	3
2. INTRODUCCIÓN .....	5
3. OBJETIVOS .....	6
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
<b>4.1 Materiales</b> .....	7
4.1.1 <i>Placa sensor Waspote</i> .....	7
4.1.2 <i>Módulo Bluetooth</i> .....	11
4.1.3 <i>Software</i> .....	13
<b>4.2 Métodos</b> .....	16
4.2.1 <i>Instalación y puesta en marcha</i> .....	16
4.2.2 <i>Funcionamiento y prueba</i> .....	20
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
5.1 Resultados .....	26
5.2 Ensayos .....	27
5.3 Discusión .....	28
5.4 Líneas de Futuro .....	29
6. CONCLUSIONES .....	30
7. ANEXOS .....	31
7.1 Índice de Figuras y Tablas .....	31
7.2 Estructura de carpetas y tipo de archivo del contenido del TFG.....	32
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32

# 1. RESUMEN

Las redes sensoriales inalámbricas (WSN) están formadas por una serie de nodos que miden parámetros de interés mediante sensores y trabajan en conjunto para enviar esa información. La base del funcionamiento de estas redes inalámbricas de sensores reside en las comunicaciones inalámbricas que utilizan. Este tipo de comunicación usa las ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio sin utilizar ningún medio guiado que comunique los extremos de la transmisión. En la actualidad existen múltiples dispositivos que disponen de la capacidad necesaria para transmitir y recibir la información utilizando las ondas electromagnéticas, prueba de ello son los ordenadores portátiles o teléfono móviles entre otros. De las diferentes posibilidades de comunicaciones inalámbricas existentes en redes WSN como Wifi (IEEE 802.11), Wimax (IEEE 802.16) ó ZigBee (IEEE 802.15.4) se ha elegido para la ejecución de este Trabajo Fin de Grado (TFG) la tecnología Bluetooth (IEEE 802.15.19) ya que este tipo de tecnología que está muy extendida en múltiples dispositivos.

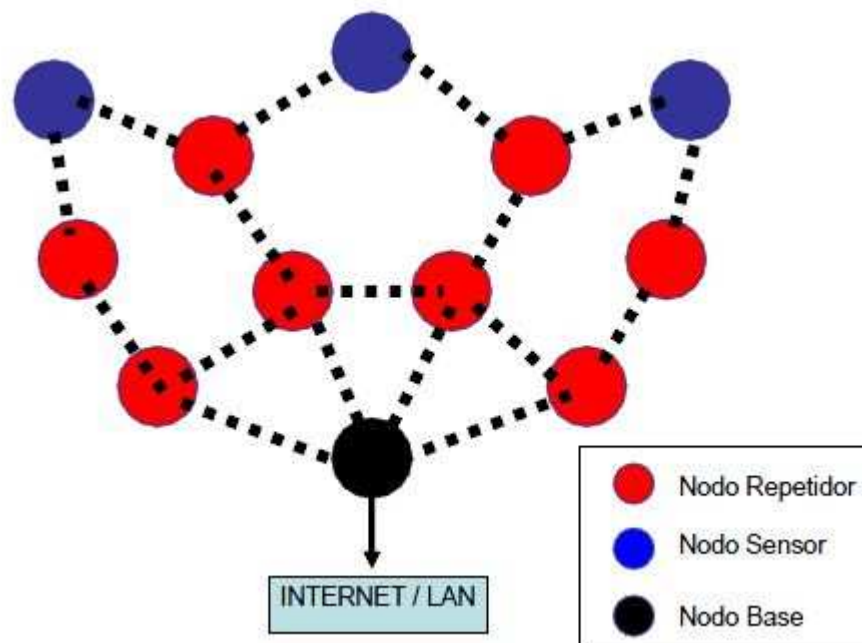


Figura nº1 : Ejemplo de Red Sensorial Inalámbrica (WSN)

El dispositivo *Wasp mote*, es un equipo de comunicaciones diseñado para implementarse en redes sensoriales basado en un microprocesador de bajo consumo, al que se pueden incorporar módulos a través de sus entradas analógicas y digitales, pudiendo medir gracias a sus sensores variables como luz, temperatura y humedad.

Estos dispositivos, se comunican mediante tecnología *ZigBee*, utilizando una máquina que dispone de radio *ZigBee* para controlar y recibir información de los nodos

sensoriales. Sin embargo, si incorporamos un módulo bluetooth a los nodos, podremos comunicarlos con otro dispositivo que disponga de tecnología bluetooth o con un servidor de Internet, sin necesidad de hardware adicional.

Este TFG consiste en la integración de un módulo bluetooth en el dispositivo *Waspote*, para la transmisión vía bluetooth de la información obtenida por los diferentes sensores que dispone la placa *Waspote* a cualquier dispositivo con tecnología Bluetooth que se encuentre en su radio de alcance. Desarrollando para ello un Software que será cargado en el dispositivo *Waspote* con la capacidad de descubrir periódicamente los dispositivos en su radio de alcance, el envío y recepción de la información.

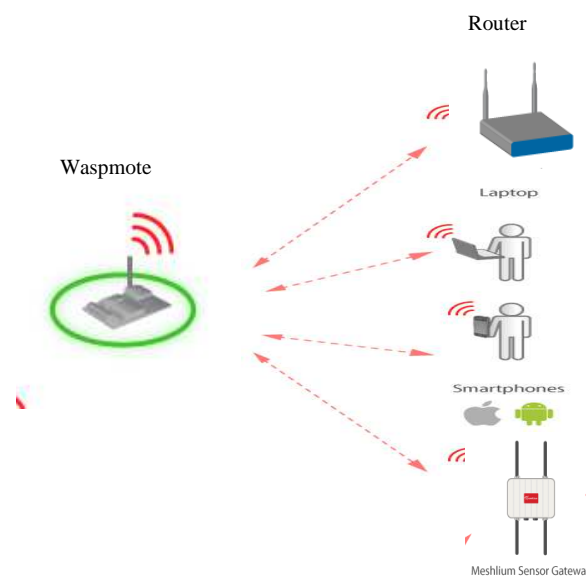


Figura nº2: Transmisión Bluetooth del Waspote a Diferentes dispositivos

Finalmente se ha procedido al estudio del alcance de las transmisiones Bluetooth realizado una prueba de la correcta transmisión de datos de prueba obtenidos de los sensores dispositivo *Waspote* a un dispositivo móvil Smartphone.

## 2. INTRODUCCIÓN

El Trabajo Fin de Grado (TFG) pertenece al Departamento de Ingeniería de Telecomunicación, dentro del mismo existe un grupo de investigación llamado Ingeniería de sistemas Telemáticos que se dedica entre otro tipo de investigaciones al estudio del Internet en las cosas “Internet of Things” (IOT). En este entorno de investigación se está trabajando con redes sensoriales inalámbricas o redes WSN (wireless sensor networks). Este grupo de Investigación dispone de materiales relacionados con las WSN que han sido cedidos entre los meses de Enero de 2014 y Junio 2014 para la realización de este TFG.

Las redes sensoriales inalámbricas o redes WSN (*wireless sensor networks*), están formadas por una serie de nodos que tienen acceso al mundo exterior por medio de sensores. El nombre que se le da a este tipo de dispositivos es el de “mote” -traducción inglesa de mota de polvo-, debido a su pequeño tamaño y la idea de que pueden ser colocados en cualquier parte.

Estos dispositivos tienen la capacidad de comunicarse entre sí mediante la creación de redes malladas utilizando el protocolo *ZigBee*. De este modo, es posible transmitir la información adquirida a través de la red hasta un punto de control que registre los valores observados y pueda tomar decisiones. Una limitación de estas redes es la necesidad de un dispositivo o un equipo que disponga dicha tecnología *ZigBee* para comunicar los resultados al usuario final. Ésta es la principal motivación del desarrollo del uso de bluetooth, ya que dicha tecnología es más conocida y extendida que la *ZigBee*.

Disponiendo de un radio bluetooth en los nodos se puede interactuar con un dispositivo que tenga la tecnología bluetooth (un Smartphone, Tablet, ordenador portátil...). Así mismo, la utilización del radio bluetooth junto con las redes WSN ya implementadas con *ZigBee*, nos ofrecen un amplio abanico de posibilidades para el futuro.

Los sensores inalámbricos Waspote con los que se trabajará han sido adquiridos por el Grupo de Investigación a la empresa Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L que ofrece una plataforma potente, modular y en la que se programan los sensores con código abierto para dotar de Internet a las cosas.

### 3. OBJETIVOS

Los objetivos principales pretendidos con la realización de este TFG pueden concretarse en estos diferentes puntos:

- Realizar un acercamiento a la nueva Línea de Investigación del estudio del Internet en las cosas (IOT), cuyo campo de aplicación está en auge ya que en la actualidad y sobre todo en el futuro la mayoría de aparatos tendrán un tipo de conexión inalámbrica a Internet.
- Estudiar las Redes Sensoriales Inalámbricas (WSN) y sus componentes, observando las múltiples funcionalidades y aplicaciones que este tipo de redes pueden ofrecernos.
- Analizar la existencia de diferentes tecnologías para la transmisión inalámbrica de la información de sensores Wasmote, de las que finalmente se elegirá una que será desarrollada para este Trabajo Teórico/Experimental.
- Integrar un módulo bluetooth en sensor Wasmote para la transmisión inalámbrica de la información obtenida por los diferentes sensores de los que dispone la placa Wasmote.
- Trabajar con el entorno de desarrollo de la empresa Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L desarrollando un Software que permita el descubrimiento de dispositivos, envío y recepción de datos.
- Estudiar el alcance de las transmisiones del sensor Wasmote a un dispositivo móvil.

Para alcanzar estos objetivos se pretende poder transmitir información utilizando el módulo de radio Bluetooth diseñado específicamente para escanear hasta 250 dispositivos en una sola consulta, creando conexiones con los dispositivos previamente encontrados utilizando sus direcciones MAC y asociándose cada conexión a un canal diferente, para finalmente enviar y recibir datos entre el sensor Wasmote y un Smartphone a modo de prueba.



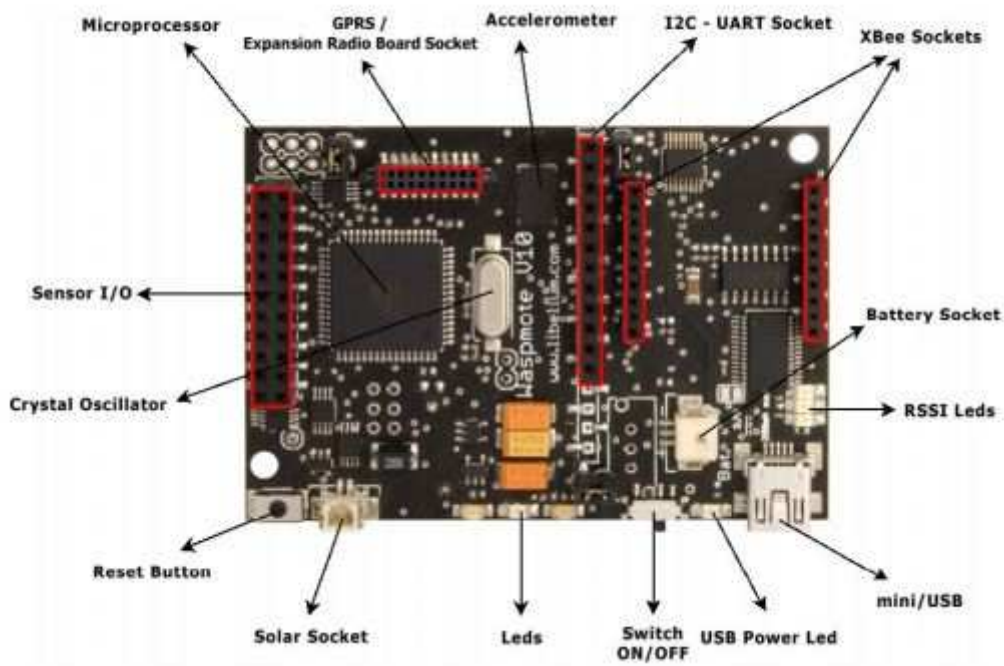


Figura nº 4: Cara superior placa Waspote

Siendo las características y consumos de la placa anterior los siguientes:

#### Características Generales:

<b>Microcontrolador:</b>	ATmega1281
<b>Frecuencia:</b>	8MHz
<b>SRAM:</b>	8KB
<b>EEPROM:</b>	4KB
<b>FLASH:</b>	128KB
<b>SD Card:</b>	2GB
<b>Peso:</b>	20gr
<b>Dimensiones:</b>	73.5 x 51 x 13 mm
<b>Rango de Temperatura:</b>	[-20°C, +65°C]
<b>Reloj:</b>	RTC (32KHz)

Figura nº 5: Características placa Waspote

#### Consumo:

<b>ON:</b>	9mA
<b>Sleep:</b>	62µA
<b>Deep Sleep:</b>	62µA
<b>Hibernate:</b>	0.7µA

**Funcionamiento sin recarga:** 1 año \*

\* Tiempo obtenido usando el modo Hibernar como modo de ahorro energético

Figura nº6: Consumos placa Waspote

La placa Waspote también dispone de leds de indicación visual:

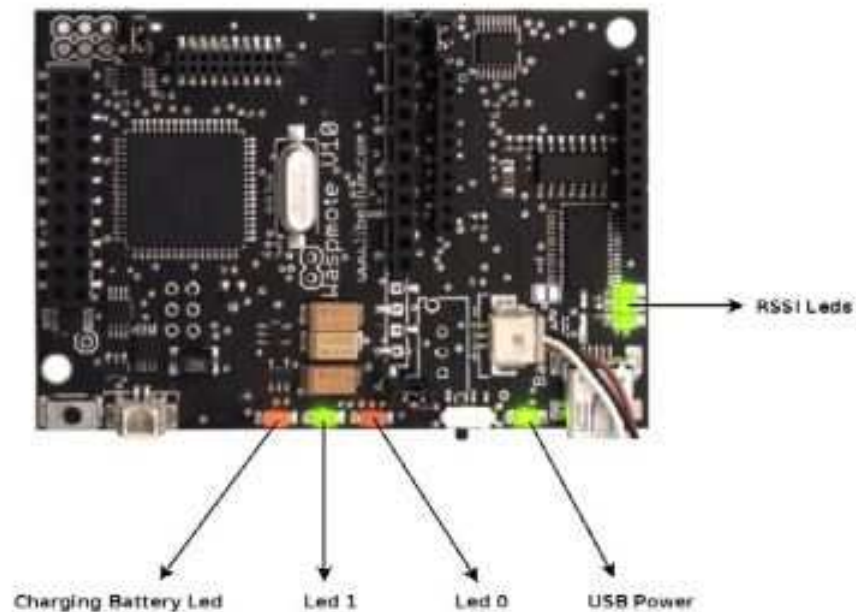


Figura nº7: Leds de indicación visual de la placa Waspote

Los leds expuestos en la imagen previa son los siguientes:

**Led indicador de carga de batería:** Led de color rojo que indica que en Waspote hay conectada una batería que está siendo cargada, la carga se hace mediante un cable mini USB. Una vez que la batería está totalmente cargada el led se apaga automáticamente.

**Led 0 – Led programable:** led indicador verde conectado al micro controlador totalmente programable por el usuario desde el código del programa. Además el led 0 indica cuando Waspote se resetea, emitiendo un parpadeo cada vez que se lleva a cabo un reset en la placa.

**Led 1 – Led programable:** Led indicador rojo conectado al micro controlador totalmente programable por el usuario desde el código del programa.

**Led indicador USB Power:** Led verde que indica cuando Waspote está conectado a un puerto USB compatible bien para carga de batería o bien para programación. Cuando el led está encendido indica que el cable USB está conectado correctamente, al quitar el cable USB el led se apagará automáticamente.

**RSSI Leds:** Se han incluido 3 Leds para conocer visualmente el valor del RSSI (Received Strenght Signal Indicator) de las tramas 802.15.4. Indican la calidad de la señal del último paquete recibido.

Además de los puertos de entrada/salida y los leds, la placa Waspote cuenta con los jumpers, los cuales se pueden ver en la siguiente ilustración.

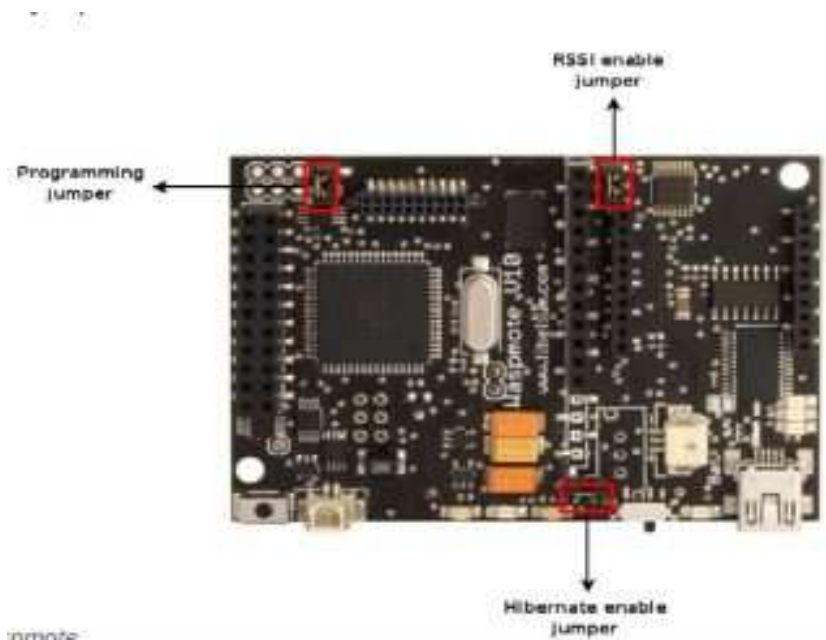


Figura nº8: Jumpers en Waspote

La descripción de los jumpers de Waspote es la que sigue:

**Jumper de habilitación de programación:** La programación de la placa solo es posible si este jumper está colocado. Una vez pasada la fase de laboratorio y de cara a la instalación definitiva, es recomendable no poner el jumper para reducir el consumo de Waspote al mínimo.

**Jumper de habilitación del indicador RSSI:** Si el jumper está colocado, está habilitada la función de indicación por leds de RSSI.

**Jumper de habilitación de modo Hibernate:** Si el jumper no está colocado, deshabilitaremos la programación de Waspote. El modo de funcionamiento Hibernate requiere quitar este jumper durante el comiendo del programa por primera vez.

Waspote puede comunicarse con otros dispositivos externos mediante los diferentes puertos de entrada/salida que posee. Los dispositivos con los que Waspote puede comunicar pueden ser cualquier sensor, componente o modulo electrónico siempre y cuando se respeten las especificaciones requeridas por cada puerto.

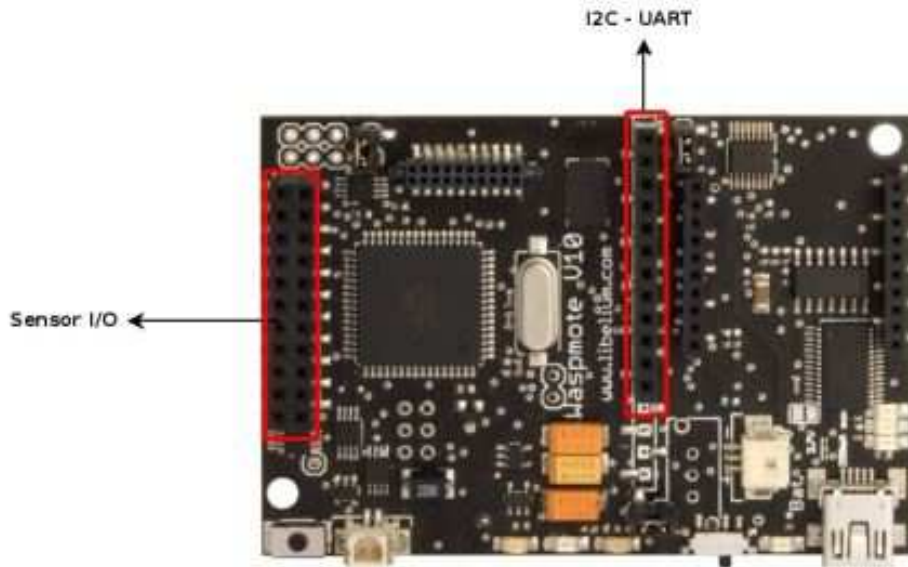


Figura nº9: Conectores I/O en Waspote

#### 4.1.2 Módulo Bluetooth de Waspote:



Figura nº10: Antena Bluetooth de Libelium

El módulo Bluetooth Waspote utiliza el mismo socket que XBee. Esto significa que el módulo XBee y el Módulo Bluetooth son pin a pin compatibles.

Las características y consumos de la Antena Bluetooth de Libelium se muestran en las imágenes inferiores.

```
Bluetooth Chip: eUnistone31308/2
Version: Bluetooth 2.0+ EDR (Configurable BT 1.2)
TX Power: 2.5dBm
RX Sensitivity: -86dBm
Antenna: 2dBi / 5dBi
Antenna Connector: RP5MA
Outdoor Range: 250m LOS (Line of sight)
Indoor Range: 30m NLOS (Non line of sight)
```

Figura nº 11: Características de Antena Bluetooth

Como se puede ver en las características de la antena Bluetooth la frecuencia utilizada es la banda libre de 2,4 GHz, usando 79 canales con un ancho de banda de 1 MHz por canal.

2,4 GHz Band

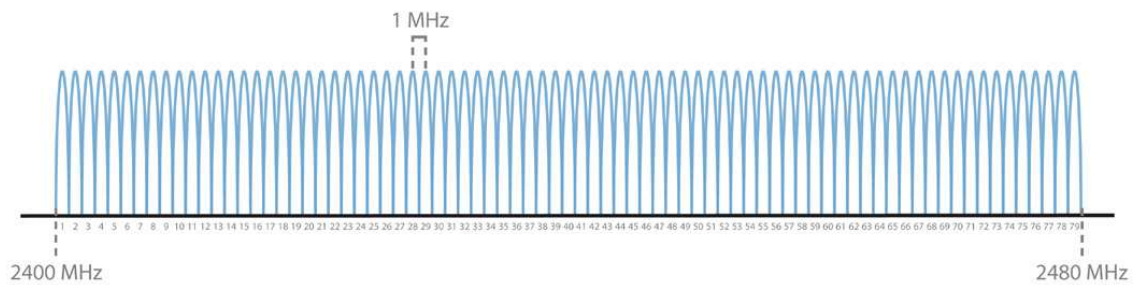


Figura nº 12: Canales frecuenciales en la banda de 2,4 GHz

Bluetooth realiza 1600 saltos por segundo usando estos 79 canales. El módulo de Waspnote Bluetooth utiliza una versión mejorada de FHSS llamado Adaptive Frequency Hopping (AFH). El uso de la AFH, provoca que las bandas de frecuencias que contiene interferencias causadas por otros protocolos tales como ZigBee y Wifi pueden ser detectados para evitarlos en futuras transmisiones. De esta manera, cuando detectamos algunos canales están siendo utilizados por otras redes se va a dejar de transmitir en esta banda y se extenderán los saltos de frecuencia entre el resto de los canales libres.

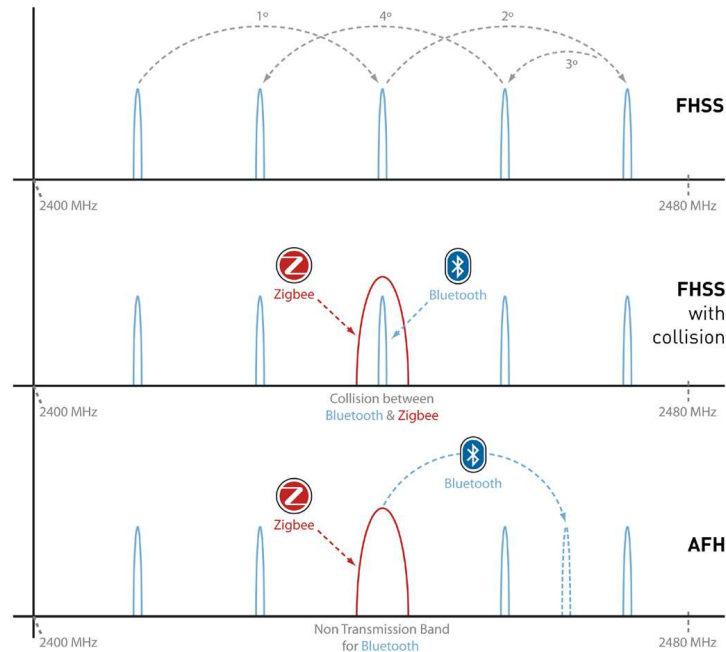


Figura nº13: No transmisión Bluetooth Canales Ocupados

#### 4.1.3 Software

El hardware elegido para este proyecto determina el software a utilizar en él. Dado que los sensores elegidos son los pertenecientes a la tecnología Waspote de Libelium, se ha usado el entorno de trabajo que proporciona la empresa para ello, el Waspote-IDE. Dicho entorno de desarrollo integrado está disponible en la web de la empresa para los distintos sistemas operativos existentes.

Este entorno de trabajo es el compilador de la plataforma Arduino, siguiendo el mismo estilo de librerías y funcionamiento, que se usa para trasladar un programa determinado desde un ordenador a las placas que contienen los sensores. Dichos programas son los que hacen funcionar a los sensores correctamente y nos permiten programar parámetros como el intervalo de tiempo de envío de datos, si se usara Xbee o USB para la transmisión, etc.

En este proyecto nos remitiremos a Waspote-IDE tan solo para el traslado del programa a la placa.

A continuación se describe la instalación del software necesario para la creación de la aplicación final. Como ya se ha mencionado, la tecnología de sensores usada se corresponde con Waspote de la empresa Libelium, la aplicación se ha realizado en el entorno de programación Eclipse y el lenguaje utilizado para tal propósito ha sido Java.

**Waspote-IDE:** este programa puede ser descargado de forma gratuita desde la página web de Libelium ([www.libelium.com](http://www.libelium.com)), en su apartado para Waspote. Desde esta pantalla elegimos la aplicación dependiendo del sistema operativo, en este caso se ha

elegido Windows. Al descargarlo se observa que la aplicación no requiere instalación y para utilizarlo se debe emplear el script ejecutable que se llama Wasmote, el cual se encuentra en la carpeta descargada.

drivers	07/02/2012 13:41	Carpeta de archivos	
examples	23/02/2012 11:30	Carpeta de archivos	
hardware	07/02/2012 13:41	Carpeta de archivos	
java	07/02/2012 13:41	Carpeta de archivos	
lib	07/02/2012 13:41	Carpeta de archivos	
reference	07/02/2012 11:51	Carpeta de archivos	
tools	07/02/2012 13:41	Carpeta de archivos	
cygiconv-2.dll	07/02/2012 11:44	Extensión de la apl...	947 KB
cygwin1.dll	07/02/2012 11:44	Extensión de la apl...	1.829 KB
libusb0.dll	07/02/2012 11:44	Extensión de la apl...	43 KB
readme	07/02/2012 11:45	Documento de tex...	18 KB
ntbSerial.dll	07/02/2012 11:44	Extensión de la apl...	76 KB
wasmote	19/11/2009 8:25	Aplicación	943 KB

Figura nº14: Carpeta de Wasmote - IDE

Wasmote – IDE se divide en cuatro partes fundamentales que se pueden ver en la siguiente figura.

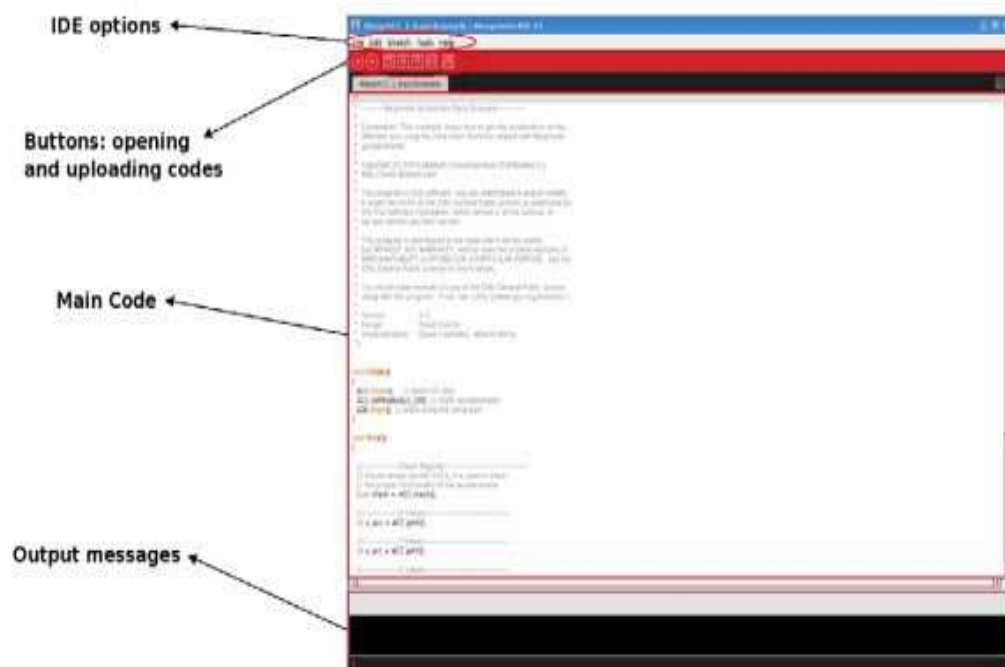


Figura nº15: Ventana principal de Wasmote-IDE

La primera parte es el menú donde se permite la configuración de parámetros generales como el puerto serie seleccionado, la segunda parte es un menú de bonotes

que permiten compilar, abrir, guardar o cargar en la placa el código seleccionado, la tercera parte contiene el código principal que se cargará en Wasmote, y por último la cuarta parte muestra los posibles errores de compilación o carga, así como los mensajes de éxito si el proceso se lleva a cabo satisfactoriamente.

El panel de botones del Wasmote – IDE permite realizar ciertas funciones como abrir un código previamente guardado, crear uno nuevo o cargar el código en la placa. En la siguiente ilustración se puede ver el panel y las funciones de cada botón.

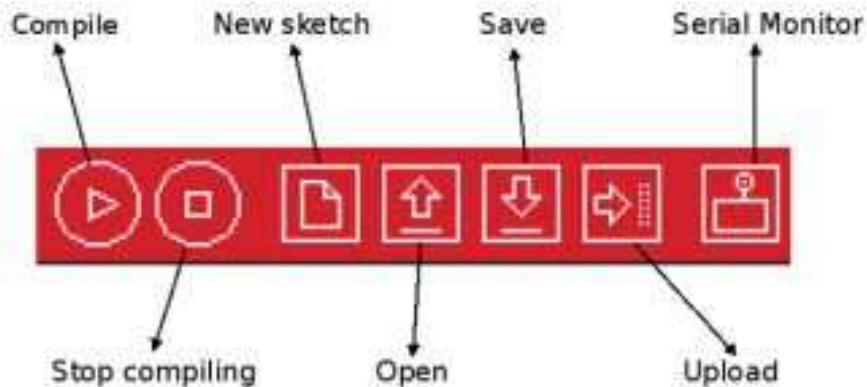


Figura nº 16: Panel de botones de Wasmote – IDE

Una vez abierto correctamente el programa se debe cambiar la configuración para que los programas se carguen correctamente de forma que en la pestaña “Tools/Board” se debe seleccionar la versión de API Wasmote que se va a usar de la siguiente forma:

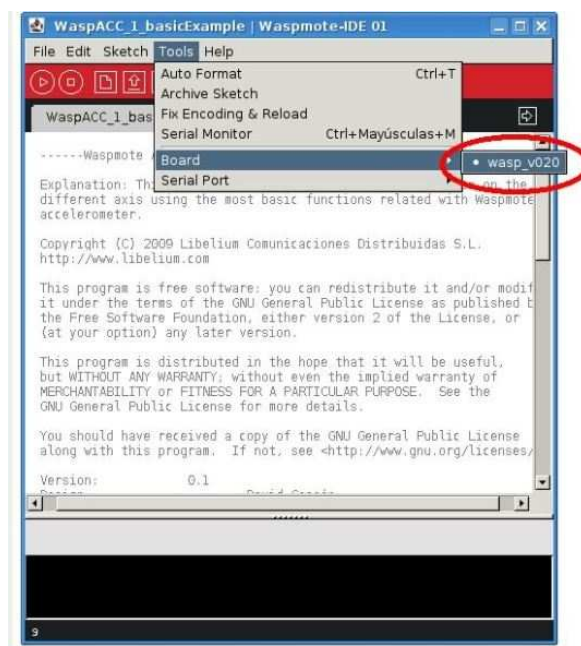


Figura nº17: Selección de API Wasmote

Y en la pestaña “Tools/Serial Port” se debe seleccionar el USB en el que se ha conectado Waspnote al ordenador.

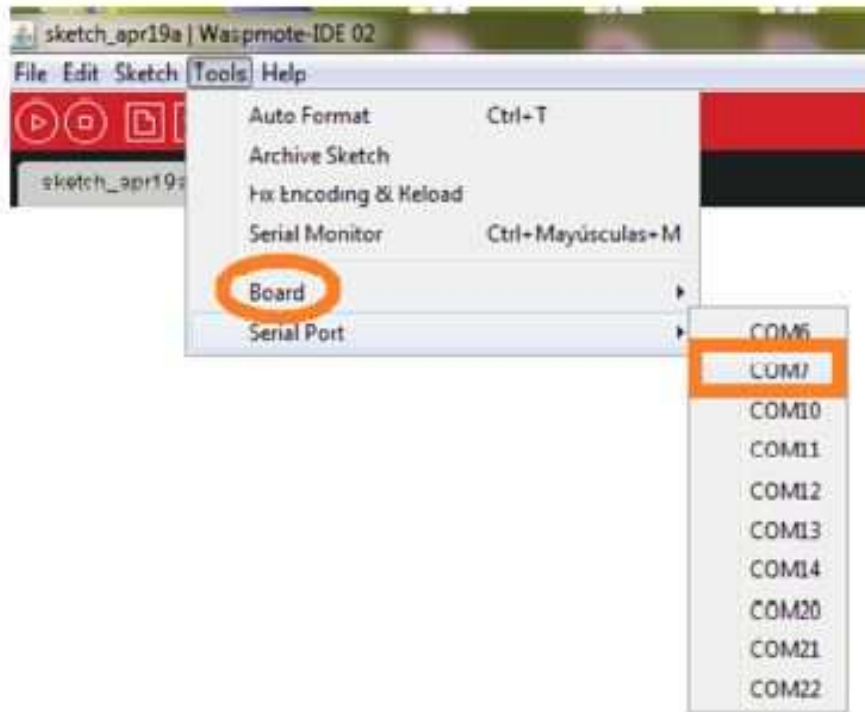


Figura nº18: Configuración puerto serie Waspnote

Una vez que se han configurado estos dos parámetros se puede cargar un programa en Waspnote.

## 4.2 METODOS

### 4.2.1 Instalación y puesta en marcha

Instalados los programas necesarios, se empiezan a realizar las primeras pruebas con los dispositivos configurando la velocidad de transmisión de la antena a 3800bps y ejecutando el programa por defecto que viene en la placa Waspnote, con el cual una vez puesta la placa ON se ejecutan secuencialmente las siguientes acciones:

Estado 1 - Leds encendidos durante 5 segundos.

Estado 2 – Leds parpadeando durante 3 segundos.

Estado 3 – Envío de mensajes.

Los estados 1 y 2 únicamente se ejecutan una vez al comienzo del programa mientras que el estado 3 se repite indefinidamente cada 3 segundos.

En el mensaje recibido aparece una serie de caracteres hexadecimales seguidos por el mensaje que es la segunda línea, la cual indica la dirección MAC de 64 bits del módulo Xbee integrado en Wasmote que ha enviado el paquete.

Una vez comprobada la funcionalidad de los dispositivos, se cargará código en la placa. Para poder hacer esto, el código debe estar compilado, guardado y subido a la placa. Todo esto se hace desde el Wasmote-IDE, teniendo cuidado de que las acciones son completadas porque, de lo contrario, no se cargará el programa en la placa. Esto se puede comprobar en el Wasmote-IDE también:



Figura nº 19: Guardar confirmado

Cargar código en la placa Wasmote conectada por USB: primero se verá un mensaje en el proceso de carga. En este proceso se procede a la compilación y posterior carga del programa.

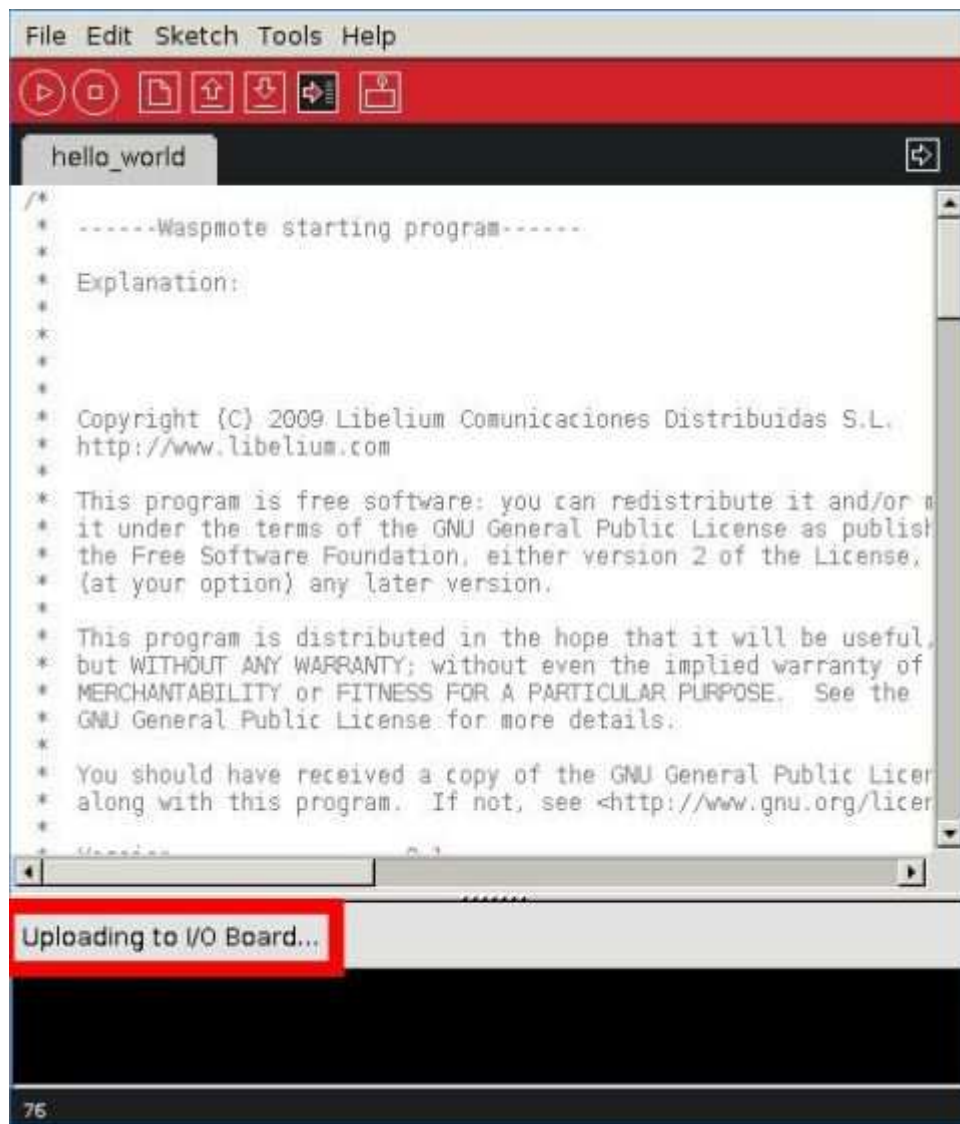


Figura nº20: Cargando código en la placa Wasmote.

En la parte recuadrada en rojo se ve que el programa aún no se ha cargado en la placa, por tanto no se puede desconectar hasta que aparezca lo siguiente:



Figura nº 211: Programa cargado en placa Waspote

Es importante que la placa esté en ON al cargar el código, en caso contrario nos devolverá un error.

Una vez aparezca el mensaje recuadrado en rojo en la imagen anterior, el código se encuentra en la placa y se puede proceder al siguiente paso.

La carga de programas solo es posible en la placa Waspote, en ningún caso se podrá cargar código en la Estación Base ya que ésta no lo admite.

Posteriormente se encajará el módulo XBee de nuevo en la placa Waspote, ya que para la carga de la placa debe estar quitado, pues tanto la carga del programa como el módulo XBee usan la UART\_0 del dispositivo. Se volverá a insertar el módulo XBee tal como indica la imagen:

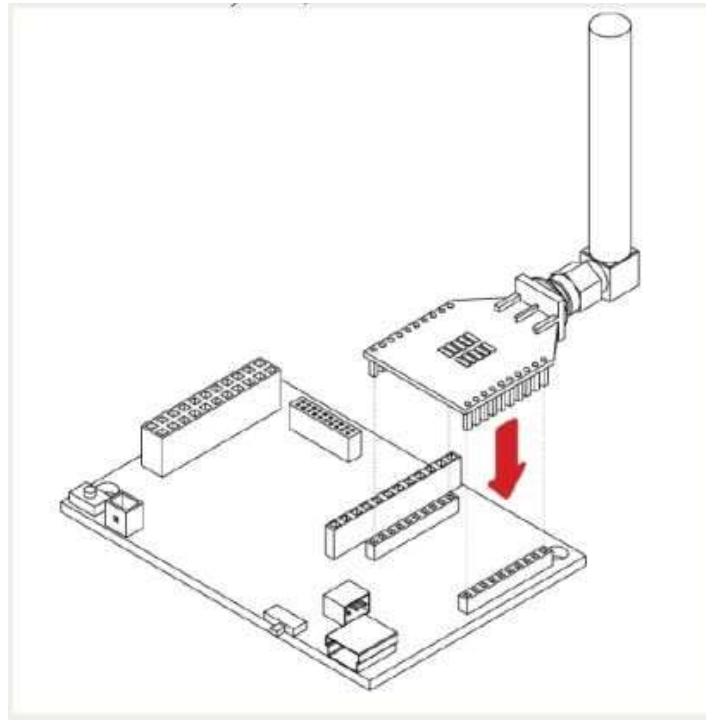


Figura nº22: Integración módulo Bluetooth en placa Waspote

Como último paso se apaga y se vuelve a encender la placa Waspote para que se inicie el programa que se acaba de cargar en ella.

#### 4.2.2 Funcionamiento y prueba

El programa cargado en la placa Waspote se encarga de realizar un escaneo de aquellos dispositivos que están dentro de su alcance, descubre sus direcciones MAC y se le asigna un canal para establecer una conexión. Una vez la conexión se encuentra abierta se transmite periódicamente vía Bluetooth los datos obtenidos de sus sensores como por ejemplo su Sensor de Temperatura RTC que se presenta en un formato de 10 bits complemento a dos, ocupando 2 registros, tiene una resolución de  $+0.25^{\circ}\text{C}$  y el rango de temperatura que se puede medir está comprendido entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $+85^{\circ}\text{C}$ .

Para realizar una prueba de la transmisión de Datos vía Bluetooth desde la Placa Waspote a un dispositivo dentro de su radio de alcance. Se ha utilizado un Smartphone con Sistema Operativo Android y utilizado la Aplicación de móvil GetBlue para el intercambio de información vía Bluetooth en su versión Demo. Únicamente se dispone de un sensor Waspote pero servirá para comprobar si se produce transmisión y recepción de información.

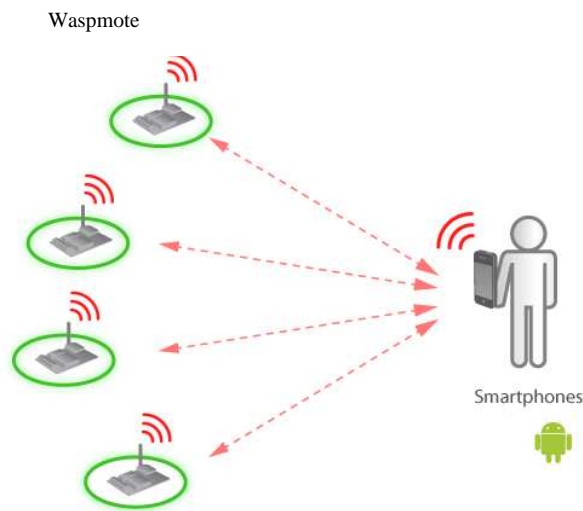


Figura nº23: Transmisión Bluetooth a Smartphone Android

Este intercambio de datos ha sido posible siguiendo las siguientes fases:

- Fase 1.- Encendido de la placa Wasmote en la ubicación deseada.
- Fase 2.- Búsqueda de los dispositivos que se encuentran dentro de su radio de alcance.
- Fase 3.- Se encuentra nuestro dispositivo de prueba Smartphone LG y se enlaza con el Wasmote para la primera vez que se encuentran. Se deberá introducir en el Smartphone la clave 1111 para poder enlazar con el Wasmote como muestra la figura inferior.



Figura nº 24 : Vinculación de Teléfono LG con Waspnote

- Fase 4.- Una vez enlazado se abre una conexión con la dirección Mac del dispositivo encontrado y asignación de un canal libre.



Figura nº 25 : Registro del Waspnote en la Aplicación

- Fase 5.-En la aplicación móvil GetBlue se configura el origen de datos vía bluetooth y queda abierta la conexión a la espera de recibir datos. Se muestran en la figuras de la siguiente página.



Figura nº 25 : Origen de datos vía Bluetooth

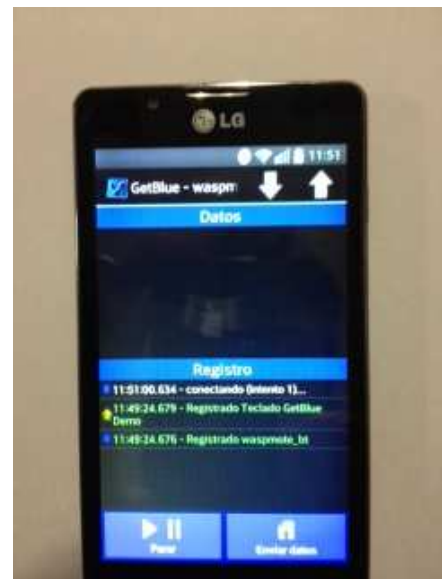


Figura nº26: Intento de Conexión



Figura nº 27: Conexión abierta

- Fase 6.-Transcurrido unos segundos llegan los datos de prueba transmitidos vía bluetooth al dispositivo móvil que son mostrados por pantalla.



Figura nº 28: Recepción de Datos de Prueba

- Fase 7.- Para probar la recepción de la información en el Waspote se ha mandado por bluetooth texto plano desde el dispositivo móvil.



Figura nº29: Envío de Texto desde la Aplicación GetBlue

- Fase8.- Se podrá comprobar su correcta recepción configurando la velocidad a 38400 baud del Serial Port COM11 que enlaza mediante USB el dispositivo Waspote al ordenador.

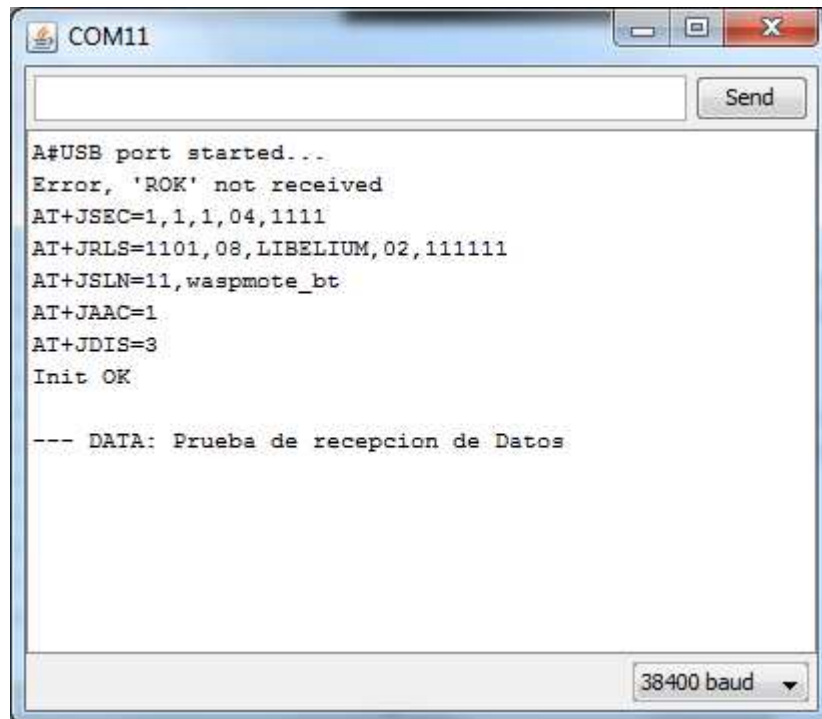


Figura nº30 : Recepción de datos en Waspote

# 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 5.1 RESULTADOS

Analizados con anterioridad las redes sensoriales inalámbricas y una vez estudiadas las diferentes tecnologías para la transmisión de información de un dispositivo Wasmote compuesto de sensores. Se ha conseguido integrar un modulo Bluetooth al dispositivo Wasmote que una vez cargado el Software desarrollado en este Trabajo fin de Grado permite:

- El escaneo de de diferentes dispositivos dentro de su radio de acción. Utilizando la función de la API BT.scanNetwork () que escanea la red en busca de nuevos dispositivos. Este proceso permite encontrar hasta 8 dispositivos por barrido, con un tiempo de respuesta variable en función del número de encontrados. El tiempo puede variar de 10 a 30 segundos y la exploración devuelve la dirección MAC y Clase de Servicio de cada dispositivo.
- El descubrimiento de otro dispositivo con la función BT.discoverDevice (MAC) que devuelve el nombre de servicio y el canal para poder crear conexión simple P2P Peer-to-Peer.
- Crear conexiones simples entre dos dispositivos P2P con la función BT.createConnection (MAC, Canal) Necesario la dirección Mac del Dispositivo y el Canal asignado con anterioridad.
- El envío de datos al dispositivo especificado utilizando la función BT.sendData ("Datos de Prueba").
- La recepción de datos. El módulo Wasmote Bluetooth soporta Serial Port Profile (SPP) para intercambiar datos con otros dispositivos con la conexión P2P descrita con anterioridad. La función BT. readData() recibe los datos y los almacena en una variable. Estos datos los podemos ver en el Serial Monitor del programa Wasmote IDE.

Otro objetivo propuesto inicialmente y cumplido es la instalación de la Api específica proporcionada por el fabricante Libelium. Se ha desarrollado un software que ha sido posible cargar al dispositivo Wasmote utilizando para ello la API previamente instalada por su conexión COM11-USB. El programa realiza de manera periódica el descubrimiento de dispositivos, estableciendo conexiones P2P vía bluetooth con uno de los 79 canales que se encuentren disponibles y mandando la información capturada por los sensores a cada uno de ellos. Además el software desarrollado le añade la capacidad de que con la misma periodicidad con las se descubren dispositivos dentro del radio de alcance y se recepciona la información enviada por un dispositivo que

previamente tenga una conexión abierta permitiendo esto la capacidad de realizar peticiones al dispositivo Wasmote.

## 5.2 ENSAYOS

Se ha podido validar el software cargado en el dispositivo Wasmote mediante la transmisión via bluetooth de datos de prueba desde el dispositivo Wasmote a un teléfono móvil con sistema operativo Android.

Para el estudio del alcance de la transmisión se han realizado ensayo en un espacio abierto con condiciones climatológicas normales y comprobando a diversas distancias si el dispositivo Wasmote en posición fija y con el Software desarrollado ya cargado en el dispositivo.



Figura nº31: Espacio abierto utilizado para el ensayo



Figura nº32: Situación del Wasmote y Cinta métrica de 20metros

El Waspote es capaz de transmitir por Bluetooth Datos de prueba en un radio de acción de 20 metros como máximo en línea recta. Los resultados han sido reflejados en la tabla inferior ya que a pesar de que se consigue una transmisión a 20 metros de distancia no siempre es capaz, siendo el radio de acción en el que se consigue un 100% de conexión y envío de información a 10 metros rectilíneos con una variación de  $\pm 2$  metros.

<i>Intento nº</i>	<i>Distancia 10 metros</i>	<i>Distancia 15 metros</i>	<i>Distancia 20 metros</i>
1	Resultado Positivo	Resultado Positivo	Resultado Negativo
2	Resultado Positivo	Resultado Positivo	Resultado Negativo
3	Resultado Positivo	Resultado Positivo	Resultado Positivo
4	Resultado Positivo	Resultado Positivo	Resultado Negativo
5	Resultado Positivo	Resultado Positivo	Resultado Negativo
6	Resultado Positivo	Resultado Negativo	Resultado Negativo
7	Resultado Positivo	Resultado Negativo	Resultado Negativo
8	Resultado Positivo	Resultado Positivo	Resultado Positivo
9	Resultado Positivo	Resultado Positivo	Resultado Negativo
10	Resultado Positivo	Resultado Positivo	Resultado Negativo

Tabla nº1 : Resultados de la Transmisión de la Información

### 5.3 DISCUSIÓN

En cuanto a la tecnología usada en el desarrollo del proyecto, se puede decir que es muy polivalente, ya que existen sensores intercambiables en las placas que cubren gran cantidad de campos de aplicación en los que se pueden utilizar.

Sin embargo, se han detectado durante el proceso de desarrollo del proyecto algunos fallos o dificultades a la hora de trabajar con ellos, como la fragilidad de las placas y largas esperas en el traslado del software a las placas.

También se ha podido comprobar que los dispositivos con los que se ha trabajado, permiten realizar actividades en tiempo real sin necesidad de la presencia o uso por parte de personas físicas, lo que significaría una importante reducción de costes en el ámbito en el que fueran aplicados dichos dispositivos.

Una posible deficiencia detectada con respecto a la trasmisiones de información de los sensores es que cualquier dispositivo que encuentre en el radio de alcance del Waspote puede recibir la información enviada, por lo que una mejora sería proceder a

realizar una Autenticación con el dispositivo de tal manera que únicamente se transmitirá la información a aquellos dispositivos de confianza. Esto se puede realizar insertando en el código funciones de seguridad.

#### 5.4 LINEA DE FUTURO

Como de línea de futuro y para que la información sea accesible desde cualquier punto con conexión a Internet, la empresa Libelium tiene desarrollado un Router específico con el que utilizando nuestro módulo de transmisión Bluetooth le podemos hacer llegar la información al interfaz del Router Meshlium y este a su vez se encarga de almacenarla y hacerla llegar a cualquier destino.

El Router Meshlium es un router Linux que puede contener 5 interfaces de radio diferentes: Wifi 2.4GHz, Wifi 5GHz, GPRS, Bluetooth y ZigBee. Además, Meshlium puede integrar un módulo GPS para aplicaciones móviles y vehiculares y alimentarse por placa solar o batería. Estas características junto con una carcasa de aluminio IP65 permiten a Meshlium ser situado en cualquier lugar en el exterior. Meshlium viene con “Manager System”, una aplicación web que permite controlar rápida y fácilmente las configuraciones Wifi, ZigBee, Bluetooth y GPRS junto con las opciones de almacenamiento de los datos de los sensores recibidos.

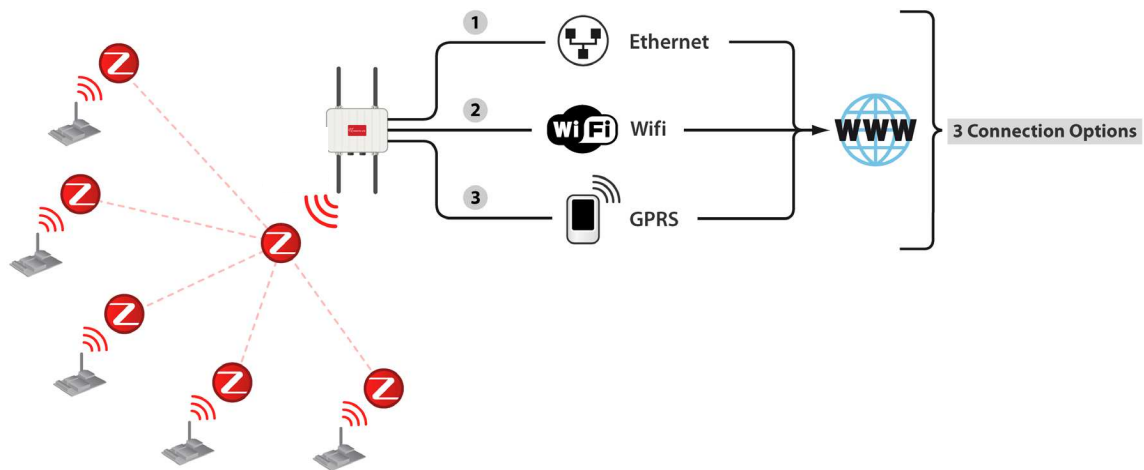


Figura nº 33 : Opciones del Router Meshlium

## 6. CONCLUSIONES

El haber alcanzado los objetivos previstos inicialmente conlleva que es viable integrar módulos bluetooth en el sensor Wasmote pudiendo crear Redes Sensoriales que permiten diversos tipos de aplicaciones. El Wasmote es un dispositivo muy versátil y el hecho de haber integrado el módulo bluetooth conlleva que este a su vez pueda comunicarse de manera inalámbrica muy fácil, debido a que este tipo de tecnología está presente en múltiples dispositivos a un precio no muy costoso. Además posee un consumo muy bajo de recursos por lo que podría estar en funcionamiento grandes periodos de tiempo.

En cuanto al alcance de las transmisiones se puede aumentar con facilidad el territorio cubierto debido a su reducido coste por lo que si fuera necesario se podría aumentar el radio de acción añadiendo nodos en las redes sensoriales y aplicando las mismas tecnologías descritas con anterioridad.

Lo más engorroso de trabajar con estos dispositivos es que no son fácilmente manipulables ya que es relativamente tedioso el trabajo de carga de los programas en las placas y si esto lo sumamos a múltiples dispositivos de estas características dentro de una red sensorial es relativamente complejo la modificación de la programación de los dispositivos. Otro inconveniente es que a pesar de su bajo consumo es necesario proceder a su carga en el tiempo, aunque existen proyectos con placas solares que mejoran el rendimiento de los nodos buscando el objetivo de ser realmente autónomos.

La realización de este Trabajo Fin de Grado me ha aportado un acercamiento a las redes Sensoriales y al dispositivo Sensor Wasmote abriendo gracias a su capacidad de transmisión inalámbrica múltiples aplicaciones en diferentes sectores.

Por el momento, las redes de sensores es un tema muy activo de investigación en varias universidades, aunque ya empiezan a existir aplicaciones comerciales basadas en este tipo de redes.

# 7. ANEXOS

## 7.1 índice de Figuras y Tablas

Figura nº1 : Ejemplo de Red Sensoral Inalámbrica (WSN).....	3
Figura nº2: Transmisión Bluetooth del Wasmote a Diferentes dispositivos.....	4
Figura nº3 Cara inferior placa Wasmote.....	7
Figura nº4: Cara superior placa Wasmote.....	8
Figura nº5: Características placa Wasmote.....	8
Figura nº6: Consumos placa Wasmote.....	8
Figura nº7: Leds de indicación visual de la placa Wasmote.....	9
Figura nº8: Jumpers en Wasmote.....	10
Figura nº9: Conectores I/O en Wasmote.....	11
Figura nº10: Antena Bluetooth de Libelium.....	11
Figura nº11: Características de Antena Bluetooth.....	12
Figura nº12: Canales frecuenciales en la banda de 2,4 GHz.....	12
Figura nº13: No transmisión Bluetooth Canales Ocupados.....	13
Figura nº14: Carpeta de Wasmote – IDE.....	14
Figura nº15: Ventana principal de Wasmote-IDE.....	14
Figura nº16: Panel de botones de Wasmote – IDE.....	16
Figura nº17: Selección de API Wasmote.....	16
Figura nº18: Configuración puerto serie Wasmote.....	16
Figura nº19: Guardar confirmado.....	17
Figura nº20: Cargando código en la placa Wasmote.....	18
Figura nº21: Programa cargado en placa Wasmote.....	19
Figura nº22: Integración módulo Bluetooth en placa Wasmote.....	20
Figura nº23: Transmisión Bluetooth a Smartphone Android.....	21
Figura nº24 : Vinculación de Teléfono LG con Wasmote.....	22
Figura nº25 : Registro del Wasmote en la Aplicación.....	22
Figura nº26: Intento de Conexión.....	23
Figura nº27: Conexión abierta.....	23
Figura nº28: Recepción de Datos de Prueba.....	23
Figura nº29: Envío de Texto desde la Aplicación GetBlue.....	24
Figura nº30 : Recepción de datos en Wasmote.....	25
Figura nº31: Espacio abierto utilizado para el ensayo.....	27
Figura nº32: Situación del Wasmote y Cinta métrica de 20metros.....	27
Tabla nº1 : Resultados de la Transmisión de la Información.....	28
Figura nº33 : Opciones del Router Meshlium.....	29

## 7.2 Estructura de carpetas y tipo de archivo del contenido del TFG.

El Trabajo Fin de Grado en formato electrónico se encuentra compuesto por el archivo memoria.pdf y una carpeta llamada programa que contiene el archivo programa.pde con el código insertado en la placa Waspote.

# 8. BIBLIOGRAFÍA

**[ 1 ] Dispositivo Waspote**

<http://www.libelium.com/products/waspote>

**[ 2 ] Waspote IDE**

<http://www.libelium.com/development/waspote/quickstart>

**[ 3 ] WSN - Wireless Sensor Networks**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_de\\_sensores](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_sensores)

**[ 4 ] Estándar Bluetooth**

<http://standards.ieee.org/about/get/802/802.15.html>

**[ 5 ] Bluetooth Networking Guide**

<http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/bluetooth-networking-guide/>

**[ 6 ] Estándar ZigBee**

<http://www.zigbee.org/Standards/Overview.aspx>

**[ 7 ] Estándar Wi-Fi**

<http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>

**[ 8 ] Meshlium**

<http://www.libelium.com/products/meshlium>

**[ 9 ] Expansion Radio Board**

[http://www.libelium.com/expansion\\_radio\\_board](http://www.libelium.com/expansion_radio_board)

**[ 10 ] Conector USB**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Universal\\_Serial\\_Bus](http://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus)

**[ 11 ] Android**

<http://www.android.com/>

**[ 12 ] Android Market**

<https://play.google.com/store/apps?hl=es>