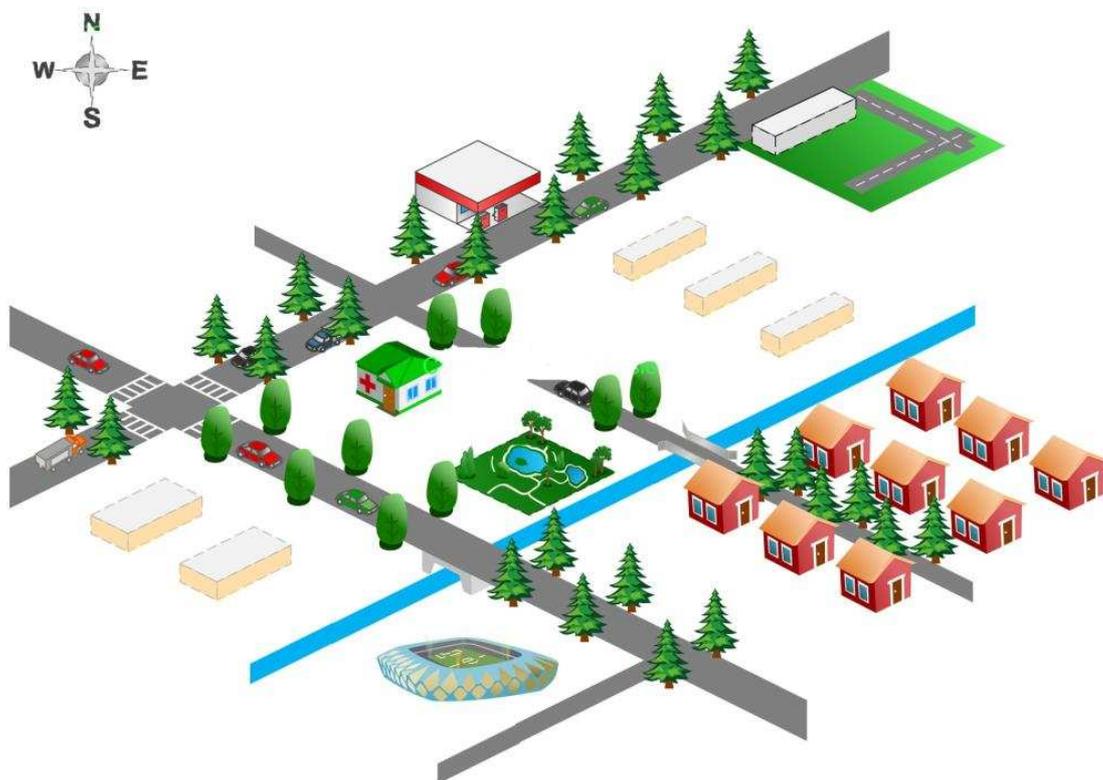


Desarrollo de una red telemática para la adquisición de datos medioambientales mediante red de sensores en el municipio de Molins de Rei



Sergio Miranda Pérez
E.T.T.T.
TFC – Integración de redes telemáticas

A Julia y Andrea; por todos esos momentos que no os he dedicado, por todos los ratos de juego que no recuperaré.

Índice

1.	Introducción	
1.1.	Descripción del proyecto.....	6
1.2.	Objetivos del proyecto.....	7
1.3.	Planificación del proyecto.....	8
2.	Legislación aplicable y seguridad.....	10
3.	Esquema de red y topología.....	13
4.	Elementos de la estación meteorológica	
4.1.	La red de sensores. Waspote con radio ZigBee.....	17
4.1.1.	El microcontrolador de Waspote.....	17
4.1.2.	Los módulos de radio de Waspote.....	18
4.1.3.	Los módulos de detección de Waspote.....	19
4.1.4.	Las diferentes sensores de Waspote.....	20
4.1.5.	La integración de todas las partes que componen Waspote...	23
4.1.6.	Las fuentes de energía de Waspote.....	24
4.1.7.	Como funciona la red ZigBee con Waspote.....	25
4.2.	Conociendo el enlace remoto. Meshlium o router.....	29
4.2.1.	El AP Meshlium. Un ‘bridge’ entre la red ZigBee y Wifi.....	30
4.2.2.	Topología de la red Meshlium.....	30
4.2.3.	Características de las radios de Meshlium.....	32
4.2.4.	Configuración IP de los Meshlium.....	32
4.2.5.	El almacenaje de la info de los Waspote en Meshlium.....	33
4.2.6.	Las fuentes de energía de Meshlium.....	34
4.3.	Características de los enlaces entre estaciones y ayuntamiento.....	37
4.4.	La autonomía eléctrica de Waspote.....	40
4.5.	La autonomía eléctrica de Meshlium.....	40
5.	Análisis de funcionamiento.....	43
5.1.	Estudio de cobertura de los nodos Wifi.....	45
5.1.1.	Parámetros a tener en cuenta en el estándar 802.11a para un correcto funcionamiento de los nodos Wifi.....	51
5.2.	Estudio de cobertura de los nodos ZigBee.....	53
6.	Presupuesto.....	57
7.	Conclusiones.....	60
8.	Bibliografía.....	63

1- Introducción.

1.1.- Descripción del proyecto.

Un ayuntamiento situado en la comarca del Baix Llobregat ha decidido realizar un seguimiento de cómo afecta medioambientalmente a las urbanizaciones y zonas boscosas del municipio el nuevo horno construido por una antigua cementera en un municipio colindante. Los estudios previos realizados y aprobados por la Generalitat minimizan o desprecian el impacto ocasionado en las poblaciones cercanas por las emisiones derivadas del nuevo horno.

Pese a ello, y con el apoyo económico del departamento de medio ambiente y técnico del departamento de sistemas del consistorio, el ayuntamiento se ha implicado en la creación de una red de sensores que monitoricen en todo momento la contaminación de las zonas que pueden quedar más afectadas y que hasta el momento se encuentran sin cobertura de los servicios de control y seguimiento medioambientales, como son las urbanizaciones y zonas boscosas del pueblo.

Alguno de los posibles combustibles que se pueden utilizar en el nuevo horno son basuras y animales muertos, con la posible emisión a la atmosfera de contaminantes. Estos contaminantes, junto con el control de la cantidad y tamaño de partículas existentes en la atmosfera y con origen la combustión del horno serán los principales elementos a detectar y controlar por la red de sensores.

El principal escollo con que se encuentra el proyecto, es que algunas de las zonas donde se van a instalar estos sensores no tienen medios de alimentación eléctrica ni infraestructura para el envío y recogida de datos por cualquier medio cableado. Tanto la alejada ubicación de puntos de conexión al sistema eléctrico y de datos, como las ubicaciones de difícil acceso aconsejan la creación de un sistema de alimentación autónomo en cada punto, así como el diseño de un sistema Wifi para el envío de la información recogida por los sensores al departamento de medioambiente.

Para abaratar los costes y estandarizar las instalaciones se decide seguir el mismo esquema para todas las zonas donde se instalen sensores.

Así el proyecto deberá:

- Crear una red que permita interconectar los diferentes sensores que se encargarán de recoger los datos medioambientales. Se prevé la colocación de estos sensores en tres ubicaciones distintas del municipio.
- La información recogida en cada una de las ubicaciones, que se encuentran a distancias de entre 1 y 10km, deberá ser enviada a través de Wifi a uno de los servidores que se encuentra en las instalaciones del ayuntamiento.
- La alimentación eléctrica en cada una de las ubicaciones será suministrada por un sistema autónomo formado por placas solares y/o pequeños molinos.

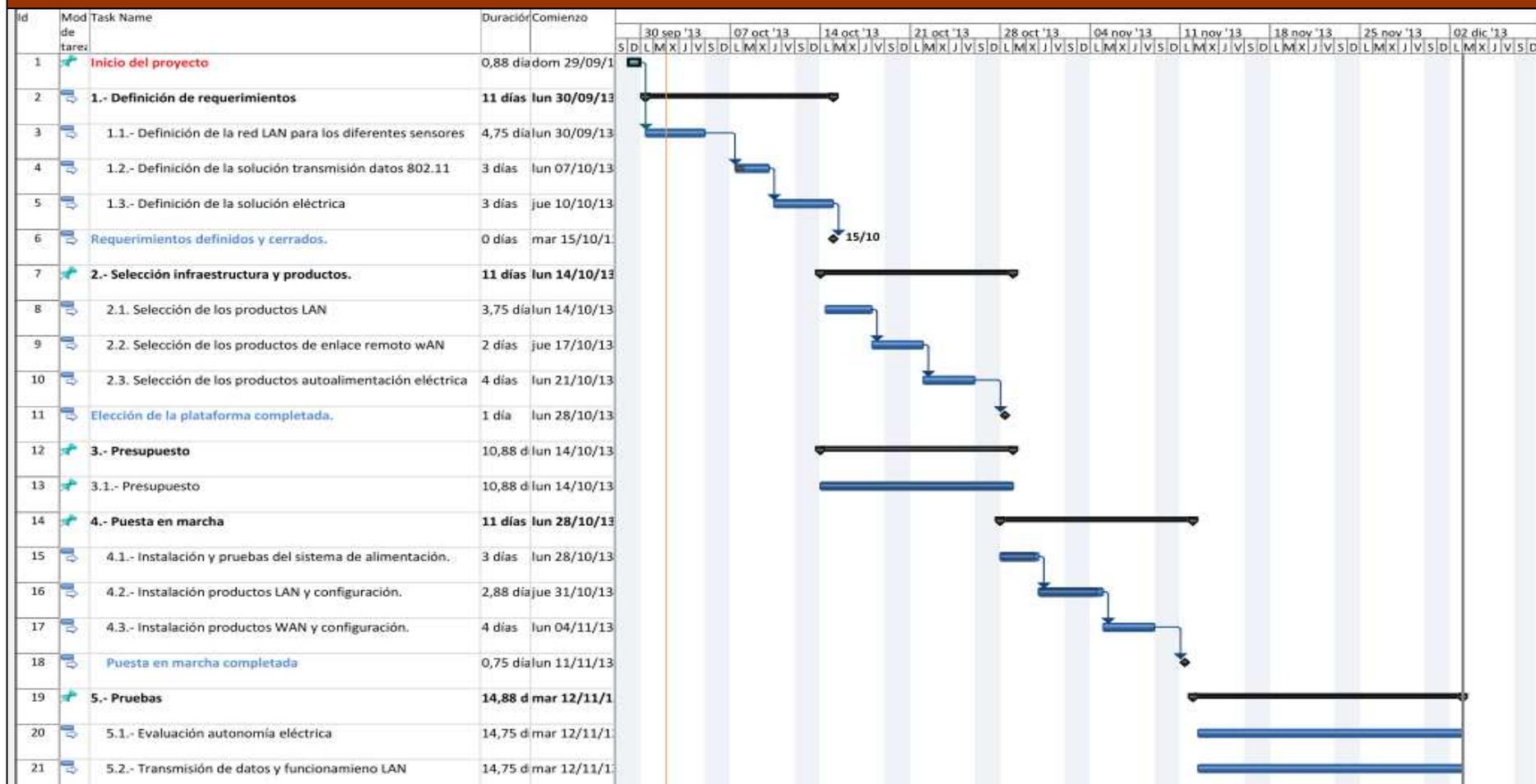
1.2.- Objetivos del proyecto.

Monitorizar la aparición de contaminantes producidos por las emisiones de un horno próximo al municipio en las zonas alejadas del núcleo urbano que permita desarrollar planes de descontaminación, emergencia y sanidad adecuados.

1.3.- Planificación del proyecto.

A continuación se muestra el diagrama de Gantt con la planificación del proyecto.

Planificación del proyecto. Diagrama de Gantt



2- Legislación aplicable y seguridad.

Tanto en la planificación de este proyecto, puesta en marcha, explotación y mantenimiento es de obligado cumplimiento la siguiente normativa:

- REAL DECRETO 1066/2001, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas.

<http://www.boe.es/boe/dias/2001/09/29/pdfs/A36217-36227.pdf>

- De esta forma, el REAL DECRETO 1066/2001 regula la distancia de seguridad mínima entre las personas y los equipos de radiocomunicación. En la tabla adjunta se muestra la distancia mínima requerida por el Real Decreto anterior para las frecuencias de trabajo utilizadas en el proyecto.

Banda	PIRE máxima permitida	Distancia de seguridad
2400-2483,5 MHz	100 mW	6 cm.
5470-5725 MHz	1 W	18 cm.

- El módulo de radio ZigBee/IEEE 802.15.4 dispone de una potencia de transmisión máxima de 20dBm. Esta se encuentra regulada por la norma EN 301 489-1 v 1.4.1 (2002-04) y EN 301 489-17 V1.2.1 (2002 - 08). La potencia máxima de transmisión de debe limitar usando el software de configuración a un valor de 12,11dBm (PL=0).

http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301400_301499/30148901/01.04.01_60/en_30148901v010401p.pdf

- La potencia de emisión de los diferentes módulos de radio Wifi, XBee 2.4GHz, XBee 868 y XBee 900MHz puede ser limitada a través de la configuración del software. Es responsabilidad del instalador elegir la correcta potencia de emisión en cada caso, teniendo en cuenta además las siguientes limitaciones:

- La potencia de emisión de cualquier módulo añadido a la antena menos las pérdidas introducidas por las conexiones y cables nunca podrá exceder 20dBm (100mW) para la banda de frecuencia de 2.4GHz, 30dBm para la banda de 5470MHz-5725MHz, 23dBm en la banda de 5150MHz-5350MHz, y 27dBm en la banda de los 868MHz siguiendo las regulaciones ETSI/EU.

- Es responsabilidad de cada instalador la correcta configuración de los diferentes parámetros del software y del hardware, con el fin de garantizar el cumplimiento de la normativa de cada país.

IMPACTO SOBRE EL PROYECTO.

- Se ha tenido en cuenta los requisitos sobre distancia mínima de seguridad para las diferentes bandas de trabajo. De este modo, tanto los elementos que trabajan entorno a los 5,4GHz (AP y AP-GW) como los que trabajan alrededor de los 2,4 GHz (detectores) serán instalados en puntos elevados, como mástiles de telecomunicaciones, que permitan respetar las distancias mínimas de 18 y 6 cm respectivamente.
- Sobre la P.I.R.E. máxima permitida, se han tenido en cuenta las limitaciones que se establecen y se han realizado los estudios de cobertura atendiendo a estas limitaciones para las diferentes bandas de trabajo (2,4 (20dBm) y 5,4 – 5,7 GHz (23dBm)).
- No se hace necesario la compra de licencias de trabajo en el espectro radioeléctrico al trabajar en bandas de acceso libre.

3- Esquema de red y topología.

En la siguiente página se puede observar un esquema completo de toda la red, donde aparecen los tres nodos de las estaciones meteorológicas y el ayuntamiento.

Los tres nodos de cada una de las estaciones meteorológicas son idénticos en su configuración. Se montan con una tipología tipo estrella. En cada nodo o estación se montan cuatro módulos de detección con radios ZigBee. En cada una de las estaciones existe un punto de acceso que monta una radio ZigBee para realizar la comunicación con las motas de detección, y una radio Wifi bajo protocolo 802.11 para realizar el enlace con el ayuntamiento.

La red ZigBee permite la configuración con otro tipo de topologías. Existe la posibilidad de hacerlo tanto con una tipología tipo árbol como tipo malla. Estas dos últimas tipologías presentan fundamentalmente una ventaja respecto a la configuración en estrella, y es la posibilidad de cubrir un extenso terreno con los diferentes detectores y obtener múltiples lecturas. Sin embargo, esta no es la necesidad del proyecto, ya que los diferentes módulos de detección se van a colocar a escasos 10 metros del punto de acceso y van a ser redundantes, donde dos de estos módulos de detección van a ser idénticos para cubrir la posibilidad de mal funcionamiento de uno de ellos. Al mismo tiempo se produce un ahorro en las baterías de cada uno de los módulos de detección, ya que solo gastarán energía para comunicarse con el punto de acceso principal, y no emplearán recursos en hacer de puente o pasarelas en la comunicación entre diferentes módulos de detección y el punto de acceso principal.

La elección de una red basada en ZigBee presenta diversas ventajas sobre otras opciones. Por un lado, y como ya hemos mencionado anteriormente, la posibilidad de configuración bajo diferentes topologías, estrella, árbol y malla. Esto dota a la red de una gran flexibilidad permitiéndonos aprovechar los recursos existentes en caso de que las necesidades del proyecto varíen en un futuro y por ejemplo nos veamos en la necesidad de cubrir una gran área de terreno con los diferentes módulos de detección.

También observamos que respecto a otras tecnologías el coste de fabricación y/o venta es inferior, así como el aprovechamiento o el consumo energía es también inferior lo que permite una mayor duración de las baterías y menor coste en tareas de mantenimiento.

Junto a lo expuesto anteriormente, cabe resaltar que ZigBee se ha convertido prácticamente en el estándar de facto para este tipo de aplicaciones y dispositivos, lo que nos permite también encontrar módulos de diferentes fabricantes y conectarlos a la red ya instalada sin en principio problemas de compatibilidad.

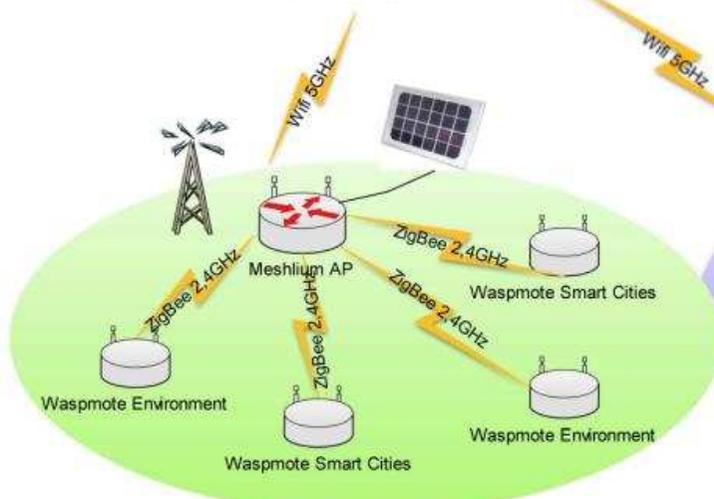
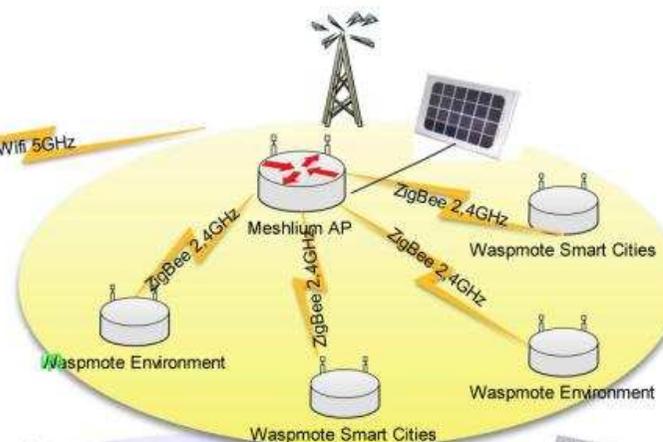
En cambio, el enlace entre las 3 estaciones meteorológicas, de varios cientos de metros, y el ayuntamiento se lleva a cabo con tecnología Wifi 5 GHz y bajo protocolo 802.11. La elección del protocolo no ha sido arbitraria, ya que es uno de los requisitos del proyecto.

Red telemática para la adquisición de datos mediante red de sensores (WSN)

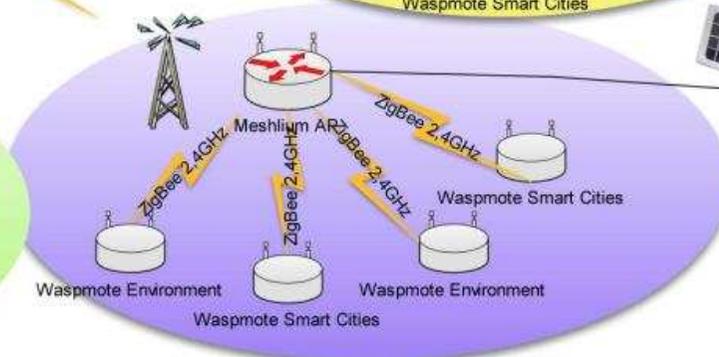
Estación Base. Ayuntamiento.



Estación 3. Distancia 1.460 metros



Estación 1. Distancia 1.620 metros



Estación 2. Distancia 2.910 metros

Así, desde mi punto de vista, la mayor complejidad del proyecto estribaba en encontrar un producto que rompiera con las limitaciones de alcance teóricas de Wifi 802.11, entorno a los 100 metros.

En el mercado se encuentra diferentes soluciones como puede ser WiMax que trabaja también en bandas libres (5GHz) y que permite enlaces de varios kilómetros con visión directa, pero que lo hace bajo el estándar 802.16 y por lo tanto no cumple los requerimientos del proyecto.

De este modo, nos encontramos con que existen muy pocos fabricantes que ofrezcan una solución única para todos los requerimientos del proyecto:

- Módulos de detección con radio ZigBee.
- Puntos de acceso ZigBee.
- Pasarelas ZigBee - 802.11.
- Puntos de acceso Wifi 802.11 2,4GHz y/o 5GHz con alcance de varios km.
- Sistema autónomo de alimentación eléctrica.

Libelium, empresa afincada en la provincia de Zaragoza es uno de los pocos fabricantes que nos proporciona una solución única para todos nuestros requerimientos, evitando de esta forma perder tiempo en comprobar la compatibilidad entre diferentes dispositivos y tecnologías y permitiendo además una negociación única con un proveedor y la posibilidad de mayores descuentos por volumen de compras.

Libelium, como ya he introducido anteriormente, nos proporciona motas de detección conocidas comercialmente bajo la marca 'Waspnote' y que integra en un único dispositivo CPU, radio ZigBee, sondas de detección, batería e incluso panel solar para la alimentación de la batería. Además, incluye los kits necesarios para la colocación de los 'Waspnote' en exteriores así como las características necesarias para trabajar a la intemperie.

También nos encontramos con los dispositivos conocidos comercialmente como 'Meshlium', que actuarán tanto como punto de acceso para la red ZigBee (formada por los 'Waspnote') como de nodo de enlace Wifi 802.11 5GHz entre cada una de las estaciones y el ayuntamiento. Los módulos 'Meshlium', igual que los 'Waspnote' están preparados para trabajar a la intemperie e integran en el mismo elemento la radio ZigBee y Wifi, lo que minimiza el número de elementos de la red y la posibilidad de errores, obteniendo en un mismo dispositivo la pasarela ZigBee - 802.11 y el punto de acceso / enlace Wifi 5 GHz. Libelium nos suministra igualmente los paneles solares para una alimentación autónoma del Meshlium, así como todos los herrajes necesarios para su instalación a la intemperie.

A su vez, Meshlium, tal y como describiré más adelante en el punto "Parámetros a tener en cuenta en el estándar 802.11a para un correcto funcionamiento de los enlaces" nos permite reconfigurar adecuadamente aquellos parámetros del protocolo 802.11 que limitan el alcance de Wifi a unos 100 metros, permitiéndonos de este modo coberturas de unos cuantos cientos de metros con visión directa y antenas directrices.

4- Elementos de la estación meteorológica.

En los siguientes puntos de este capítulo número cuatro, se pretende detallar los diferentes elementos que formarán parte de cada una de las estaciones meteorológicas.

Comenzaré por el módulo Wasmote, que no es más que la unidad que se encargará de recoger la información medioambiental para transmitirla mediante ZigBee hasta un punto de acceso. El punto de acceso, o Meshlium, será el segundo elemento que se describirá. Su cometido será recoger la información de cada uno de los módulos de detección (Wasmote) y enviarla bajo Wifi hasta el ayuntamiento. En tercer lugar describiré con más detalle los requerimientos y características técnicas que deberán cumplir los enlaces Wifi entre las diferentes estaciones y el ayuntamiento, para finalmente acabar realizando un estudio de la autonomía real de los sistemas eléctricos elegidos para alimentar eléctricamente los diferentes dispositivos.

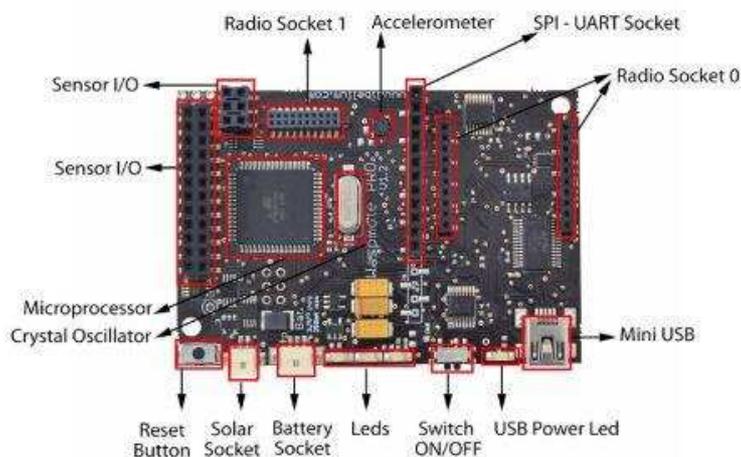
4.1.- La red de sensores. Wasmote con radio ZigBee.

Como ya he comenzado a describir en el punto anterior, Wasmote es el nombre comercial con el que se conoce al dispositivo que se encargará de recoger la información ambiental, procesarla y hacerla llegar al punto de acceso para que este último a su vez la haga llegar al centro donde se procesarán los datos enviados por los diferentes dispositivos de detección instalados. A continuación se describe con más detalles la estructura de este elemento de la estación.

4.1.1.- El microcontrolador de Wasmote.

Wasmote alberga un microcontrolador con diferentes entradas y salidas, que permite la conexión de diferentes módulos de radio para establecer la comunicación con otros dispositivos. A su vez, alberga otro zócalo que permite la conexión de los diferentes módulos de detección disponibles para esta base.

A continuación vemos una imagen de la base:



Como se puede observar en la imagen anterior, el microcontrolador ya integra diferentes sensores como un acelerómetro y un termómetro con una precisión de 0,25°C que no aparece en la imagen. Podemos visualizar igualmente los puertos para la conexión de los diferentes módulos de radio, así como el puerto de I/O para los módulos de detección ya indicados anteriormente. También se observan claramente las entradas para batería y panel solar, un puerto mini USB para configuraciones y los botones de reset y de apagado/encendido.

Una de las principales ventajas de este pequeño microcontrolador es que integra la tecnología OTA (Over the Air Programming). Esta nos permite poder actualizar o cambiar las versiones de firmware de los diferentes módulos sin tener que acceder físicamente a ellos, es decir, nos permite la actualización remota, permitiéndonos ahorrar tiempo.

4.1.2.- Los módulos de radio de Waspote.

Ya he indicado que el microcontrolador Waspote permite la conexión de diferentes módulos de radio a través del puerto 'Radio Socket 0' en función de nuestras necesidades. Los módulos de radio disponibles son siete, y en la siguiente tabla facilitada por el fabricante podemos observar algunas de las principales características de cada una de estas radios:

Model	Protocol	Frequency	txPower	Sensitivity	Range *
XBee-802.15.4-Pro	802.15.4	2.4GHz	100mW	-100dBm	7000m
XBee-ZB-Pro	ZigBee-Pro	2.4GHz	50mW	-102dBm	7000m
XBee-868	RF	868MHz	315mW	-112dBm	12km
XBee-900	RF	900MHz	50mW	-100dBm	10Km
WiFi	802.11b/g	2.4GHz	0dBm - 12dBm	-83dBm	50m-500m
GPRS	-	850MHz/900MHz/ 1800MHz/1900MHz	2W(Class4) 850MHz/900MHz, 1W(Class1) 1800MHz/1900MHz	-109dBm	
3G/GPRS	-	Tri-Band UMTS 2100/1900/900MHz Quad-Band GSM/EDGE, 850/900/1800/1900 MHz	UMTS 900/1900/2100 0,25W GSM 850MHz/900MHz 2W DCS1800MHz/PCS1900MHz 1W	-106dBm	

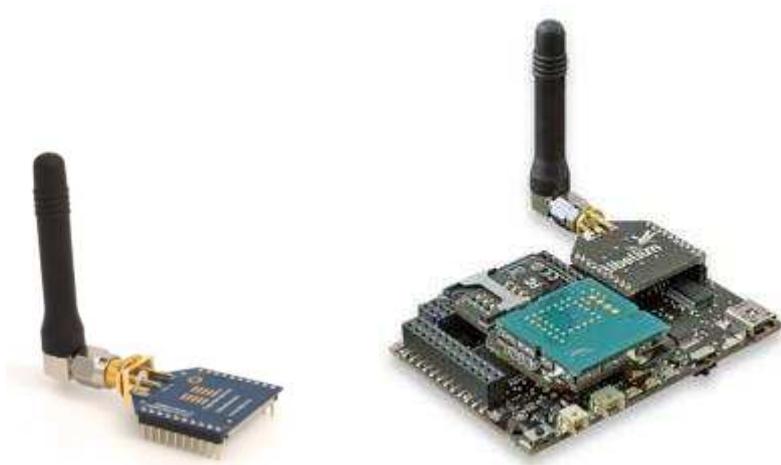
Las distancias que se reflejan en la tabla anterior se alcanzan con visión directa, debe estar libre de obstáculos la primera zona de Fresnel y con una antena dipolo de 5dBi.

Los Waspote elegidos para el proyecto montarán una radio modelo XBee-ZB-Pro; que trabaja bajo el protocolo ZigBee-Pro. ZigBee-Pro cumple con el standard ZigBee-Pro v.2007 que añade algunas mejoras respecto a las anteriores versiones de este protocolo como es el descubrimiento de nodos y la detección de paquetes duplicados. El número de canales disponibles es de 13 (entre los 2,40 – 2,48 GHz) frente a los 16 de las versiones anteriores. La sensibilidad del dispositivo es de -102dBm y la potencia de transmisión puede alcanzar los 50 mW. En el siguiente cuadro podemos ver resumidas estas características:

Module	Frequency	Transmission Power	Sensitivity	Number of channels	Distance
XBee-ZB-PRO	2,40 – 2,48GHz	50mW	-102dBm	13	7000m

¿Por qué elegir esta radio y no cualquiera de las otras seis disponibles? La respuesta es sencilla. Por un lado ZigBee se ha convertido prácticamente en el estándar para este tipo de dispositivos. A su vez el volumen de datos a recoger y enviar es bastante pequeño (unos 100 Bytes por hora) y la localización de las diferentes unidades de detección se situarán entorno a los 10 metros de distancia del punto de acceso de la red, lo que minimiza el consumo con una correcta configuración de los parámetros de envío. De este modo, la elección de una red de dispositivos (WSN) montada bajo este protocolo nos debería permitir introducir otros dispositivos de otras marcas sin demasiadas dificultades para integrarlos en nuestra red. Por otro lado, la última versión de ZigBee, además de incrementar el número de funcionalidades ya descritas anteriormente, nos permite alcances iguales con menor potencia de transmisión lo que significa a priori menores consumos eléctricos y por lo tanto una mayor durabilidad de las baterías.

A continuación podemos observar un módulo de radio por separado, y el mismo módulo de radio montado sobre el microcontrolador, sobre el que también se ha montado en la ranura de expansión para radio un módulo 3G.



4.1.3.- Los módulos de detección de Waspote.

En la actualidad disponemos de diferentes módulos de detección que se pueden integrar en esta base. Concretamente están disponibles los módulos conocidos como gases, eventos, smart cities, smart parking, agricultura, video cámara, radiación y estación meteorológica.

Cada uno de estos módulos permite la conexión de una o varias sondas con sensores que se encargarán de monitorizar los parámetros deseados. A modo de ejemplo, dentro del módulo gases tenemos disponibles hasta 16 sensores diferentes que permiten la medición de monóxido de carbono, ozono o amonios entre otros.

En la siguiente figura podemos observar el módulo de detección del tipo gases que como el resto de módulos de detección irá acoplado a la base 'Waspote'. Este módulo

nos proporcionará información sobre los niveles de metano, dióxido de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono.



En cada uno de los puntos seleccionados para la monitorización de la contaminación ambiental se desea controlar tanto las partículas que puedan llegar por la incineración como la presencia de diferentes gases indicadores de polución. Dado que supone el empleo de dos módulos sensores diferentes; smart cities y gases, deberemos instalar por lo menos dos unidades diferentes. Como además deseamos tener datos redundantes para poder asegurarnos que los datos recogidos son correctos, necesitaremos de cuatro unidades por punto. Si en la figura anterior podíamos observar el módulo de gases, a continuación se puede ver el módulo smart cities que permitirá la monitorización del nivel de partículas en el aire.

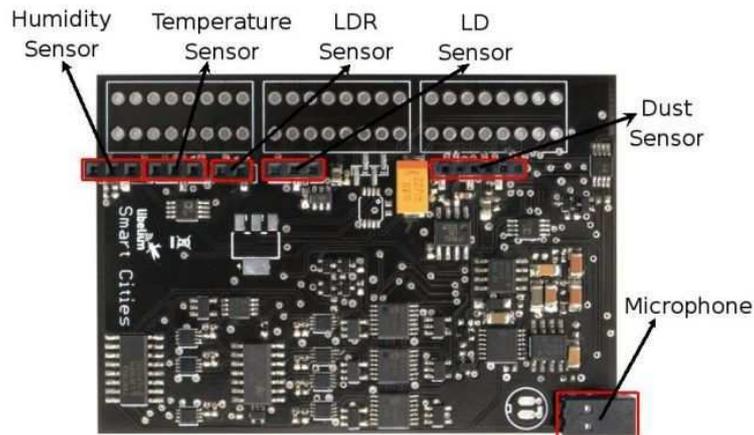


Así, los módulos sensores a colocar en cada una de las bases serán de dos tipos. Por un lado el 'smart cities' con una sonda 'Dust-PM-10' que servirá para detectar el nivel de partículas y polvo en el aire, y por otro el módulos sensor de 'gases' con las sondas metano, dióxido de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono.

4.1.4.- Las diferentes sensores de Waspmote.

En función del parámetro que deseemos medir necesitaremos un tipo de detector o sensor concreto. En función de sus características, este tipo de detector irá alojado

dentro de una sonda. A su vez, y como ya se ha descrito anteriormente, dependiendo del tipo de sensor necesitaremos un módulo de detección concreto, ya que no todos los módulos están preparados para ser conectados a cualquier sensor. A continuación se muestra la imagen del módulo de detección smart cities. Como se puede apreciar, dispone de puertos específicos para la conexión de cada tipo de sensor.



Los diferentes sensores pueden ir alojados dentro de sondas. La sonda estándar es la más habitual, y el sensor se coloca dentro de un plástico cilíndrico (lado izquierdo de la siguiente figura) que actúa como protector contra la lluvia y el agua, pero permitiendo al mismo tiempo interactuar al sensor con el medio para poder medir los parámetros necesarios. En el extremo derecho se encuentra el conector para conectar la sonda a la base de detección, que a su vez se conecta al microcontrolador.



Los cuatro sensores que necesitamos para la medición de metano, dióxido de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono se montan sobre este tipo de sonda.

Características y proceso de medida del sensor de monóxido de carbono:

Este sensor es del tipo resistivo, modifica su impedancia en función de la cantidad de monóxido de carbono que lee. Su rango de medida va desde las 30ppm hasta las 1000ppm. (1 ppm de CO sería una unidad de volumen de CO por cada millón de unidades de volumen de aire).



El ciclo de lectura del sensor dura aproximadamente 1 segundo, y consume aproximadamente 3mA.

Características y proceso de medida del sensor de dióxido de carbono:



Este sensor proporcionará como salida un valor de

tensión. A 350ppm (la concentración habitual de CO₂ en el aire) proporcionará una salida de unos 490mV, decreciendo este valor de tensión a medida que aumenta la concentración de CO₂. El rango de medida oscila entre las 350ppm y 10000ppm.

La precisión en la lectura oscilará en función del tiempo que lleve encendido el dispositivo. Se pueden obtener lecturas en que se detecten cambios significativos en la concentración de CO₂ en la que solo hayan transcurrido 30 segundos desde el encendido, obteniéndose lecturas muy precisas tras 10 minutos desde el encendido del detector. El consumo es de unos 50mA para un minuto y medio de ciclo de lectura.

Características y proceso de medida del sensor de dióxido de nitrógeno:

El sensor de dióxido de nitrógeno es también del tipo resistivo. Capaz de detectar pequeñas concentraciones de este elemento, su rango de trabajo oscila entre las 0,05ppm y las 5ppm. El ciclo de lectura dura aproximadamente 30 segundos, tiempo durante el cual consume 26mA.



Características y proceso de medida del sensor de metano:

Nuevamente estamos ante otro sensor de tipo resistivo. El rango de medida va desde las 500ppm hasta las 10000ppm. El tiempo de respuesta para este tipo de lectura es de unos 30 segundos, tiempo durante el cual se requieren de 61mA para completarla con éxito.

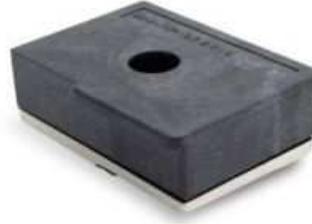


Características y proceso de medida del sensor partículas en el ambiente:

A diferencia de los cuatros sensores descritos con anterioridad, este no va insertado en la sonda estándar, ya que por su principio de funcionamiento requiere de otro tipo de disposición.

El sensor emite a través de un LED luz infrarroja, que parcialmente es reflejada por las partículas que existan en el ambiente. La luz reflejada por las partículas de polvo es recogida por un fototransistor que suministrará la información al microcontrolador. El rango de medida oscila entre 0 y 0,8 mg/m³ de polvo. El consumo para esta

lectura puede llegar a alcanzar los 20mA.

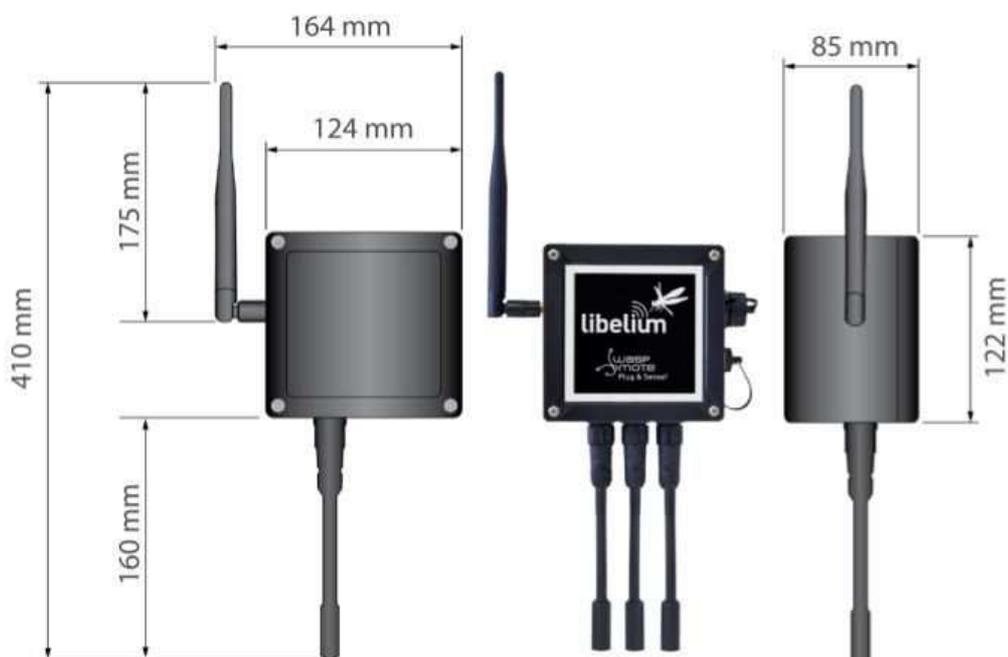


4.1.5.- La integración de todas las partes que componen Waspomote.

Si bien se hace necesario un estudio pormenorizado de cada uno de los elementos que forman parte del dispositivo para poder conocer con exactitud cuales son los requerimientos y características que nos permitirán implementar, todos los elementos vienen ya integrados por el proveedor en una solución que se conoce con la marca comercial de Waspomote Plug & Sense.

Esta plataforma monta todos los dispositivos dentro de una caja estanca (IP65) con diferentes puertos para poder conectar las diferentes sondas de medida, paneles solares, antena e incluso un puerto USB para control y/o reprogramación.

A continuación se muestra una imagen de todo la base con sus cotas:



Existen hasta nueve modelos diferentes, (todos con el mismo aspecto exterior) para diferentes aplicaciones. Como ya hemos indicado anteriormente, para la puesta en marcha de la estación meteorológica WSN solo utilizaremos dos de estos modelos, Environment y Smart Cities.

4.1.6.- Las fuentes de energía de Waspnote.

Como todo circuito electrónico, la mota Waspnote requiere de la pertinente fuente de alimentación. El fabricante nos aporta diferentes soluciones. Entre ellas, la posibilidad de alimentar directamente y a través de una conexión USB y con la ayuda de un transformador el dispositivo desde la red eléctrica. Pero claro está, esta solución solo tiene sentido en soluciones implantadas por ejemplo, dentro de edificios. Nuestro proyecto requiere de soluciones más autónomas.

Para alcanzar esta autonomía, tenemos la posibilidad de dotar a Waspnote con una batería del tipo no recargable de 26 Ah. Una vez agotada las baterías, se deberían sustituir, con lo que a priori implica unos costes de mantenimiento altos, así como la posibilidad de pérdida de lecturas durante el tiempo que la batería está agotada y no se sustituye. Dado que la descarga de la batería es lineal, se hace también imposible predecir cuando se agotará. Estos inconvenientes provocan que esta opción sea descartada.

La última solución, y la más conveniente, es la de instalar batería recargable. El fabricante instala una de 6,6 Ah, y además nos aporta la solución para poder recargarla, que es la colocación de un panel solar.

Este panel solar puede ser de dos tipos; interno o externo. El panel solar interno está ubicado sobre la cara principal del Waspnote, y ocupa menos espacio que el panel externo. Aporta una potencia máxima de 1,3 W, con una corriente máxima de 205mA. El panel externo es de mayores dimensiones, pero puede llegar a proporcionarnos hasta 3 W con una corriente máxima de 520mA. Además de aportar una mayor capacidad de carga, el panel externo también aporta al Waspnote protección contra la radiación solar y contra la lluvia si se instala justo sobre este.

En la siguiente imagen podemos ver un ejemplo de los dos tipos de paneles que han sido montados junto a un Waspnote en un mástil. El de la izquierda es del tipo interno, y como se puede ver está situado sobre la tapa principal del Waspnote. El de la derecha es externo, y tal como he indicado ofrece protección contra el sol y la lluvia. En ambos casos se optimiza su funcionamiento colocándolos en un ángulo de 45°



El fabricante también suministra los diferentes herrajes para la colocación del conjunto sobre diferentes superficies.

En el caso de este proyecto, y debido a la mayor autonomía que proporciona, me he decantado por la opción del panel solar externo. Junto a la ventaja de autonomía que proporciona este tipo de solución energética, creo que es reseñable indicar que también permite una rápida instalación del sistema ya que se minimizan las variables externas al no depender, por ejemplo, de instalaciones eléctricas obsoletas o pendientes de ampliar por falta de redimensionamiento. Las soluciones aportadas por Libelium también nos permiten la instalación del conjunto sobre los troncos de árboles, ubicación prevista en nuestro proyecto ya que las estaciones se encontrarán en zonas boscosas.

4.1.7.- Como funciona la red ZigBee con Wasp mote.

TOPOLOGIA.

Los Wasp mote se pueden configurar para que funcionen bajo tres tipos de topología diferentes; árbol, estrella o malla.

En la red ZigBee, y en función de la topología elegida, podremos tener hasta tres actores diferentes.

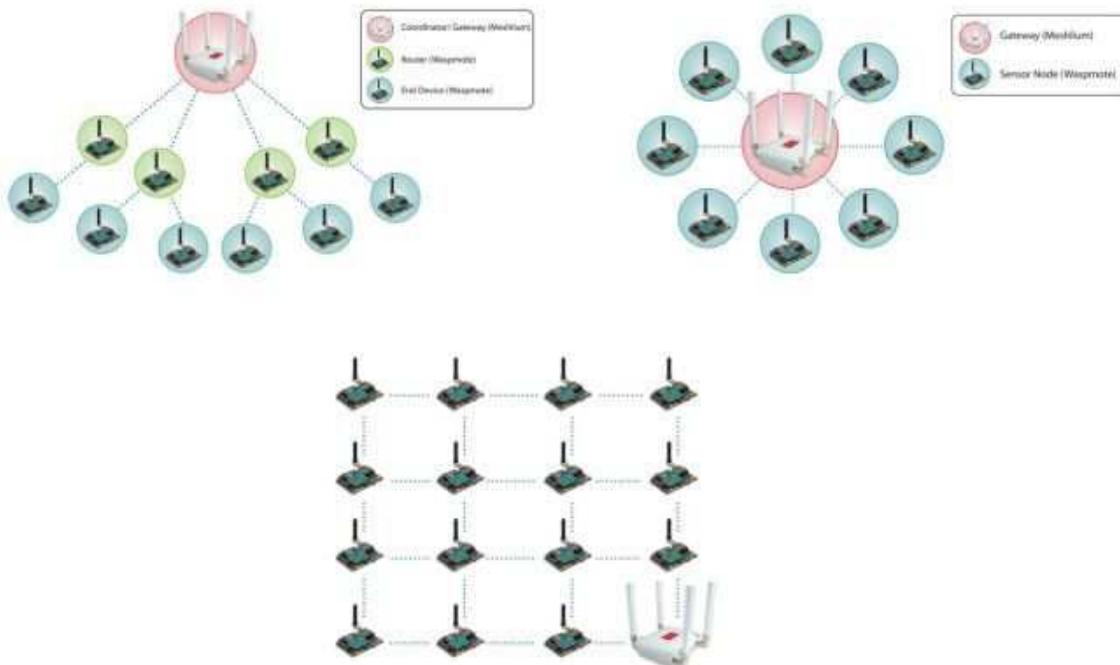
Por una parte el coordinador. Este es el encargado de seleccionar los canales y el identificador de red para que esta se pueda poner en marcha. Tras ello, su única función es prácticamente la de enrutar paquetes y permitir que otros routers o dispositivos finales como son los Wasp mote se puedan unir a la red. Naturalmente, el coordinador debe estar siempre en marcha. Dentro de la marca Libelium a este coordinador se le conoce como Meshlium, y además de estas funciones implementa muchas otras. En el próximo capítulo de este texto se profundizará en su análisis.

Como segundo actor en una red ZigBee nos podemos encontrar con el router o encaminador. Este se debe unir previamente a una red ZigBee a través de un coordinador. Tras ello, su función será la de recibir datos desde los Wasp mote y

enviarlos hasta el coordinador. También pueden autorizar a otros routers o terminales a unirse a la red. En una red pueden existir múltiples de estos dispositivos, permitiendo extender el alcance de la red y una gestión más eficiente si existen múltiples Wasmote. En el caso de la marca Libelium, el encaminador no es más que un Wasmote con funciones de enrutamiento. Igual que en el caso del coordinador, debe estar siempre en marcha.

Finalmente, el último elemento que nos podemos encontrar en esta red son los terminales. En este caso los Wasmote, cada uno con sus características concretas para poder leer los parámetros medioambientales para los que han sido configurados. Estos deben unirse a la red ZigBee antes de poder comenzar a enviar o recibir paquetes y no puede autorizar el acceso a la red a otros dispositivos. Al contrario que el coordinador y el router, puede entrar en modo ‘sleep’.

En la siguiente imagen podemos observar un esquema de las tres topologías. La topología en árbol es la única en la que participa el router. En las otras dos topologías, solo se requiere un coordinador y los Wasmote.



La topología en malla no es posible configurarla bajo una red ZigBee. Dado que en un momento dado nos podemos encontrar con que todos los dispositivos de la red estén en modo ‘sleep’, podría ser que no se pudiese enviar la información adquirida por uno de los detectores y esta se perdiera. Es por este motivo por el que no se contempla esta topología bajo ZigBee y se permite su configuración con otro tipo de radios.

La topología en árbol nos permite extender la red y mejorar su gestión en el caso de múltiples Wasmote. En nuestro caso solo vamos a contar con cuatro Wasmote en cada estación, un número más que modesto para requerir de este tipo de diseño.

Finalmente, la topología en estrella es la que se va a implementar en este proyecto ya que entre otros factores, minimiza el número de dispositivos a poner en marcha con la desaparición de los enrutadores, abaratando costes y facilitando la configuración y funcionamiento de la red.

FUNCIONAMIENTO.

Una red ZigBee se conoce también como una red PAN (Personal Area Network). Cada red ZigBee está definida por un único identificador (ID). Este identificador es común a todos los dispositivos que forman parte de la red ZigBee. Cada dispositivo puede ya tener preconfigurado este identificador (PANID) o intentar descubrirlo en las redes a su alcance para unirse a ellas.

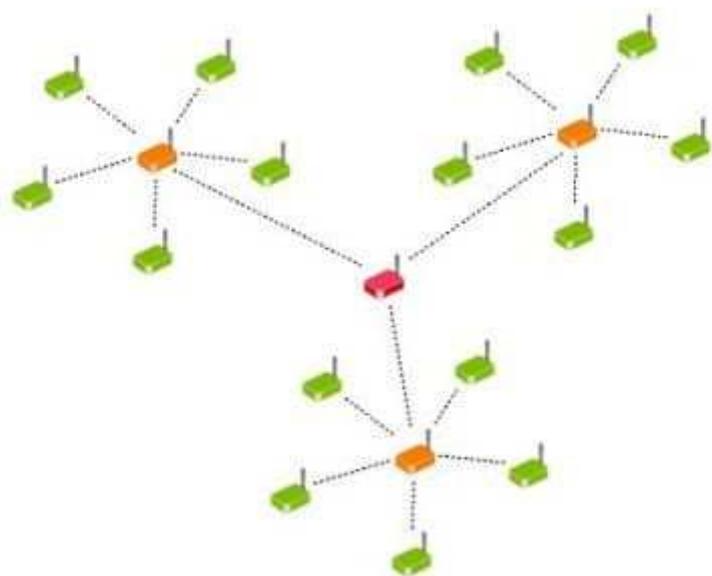
ZigBee cuenta con dos campos como identificadores (PANID) de 64 y 16 bits; y ambos sirven para identificar y diferenciar la red de cualquier otra. De este modo, dispositivos de diferentes redes que se encontrasen al alcance unos de otros se diferenciarían por su propio PANID de los dos campos de 64 y 16 bits.

El registro de 64 bits se conoce como 'Extended PAN ID', y es único para cada red. Todos los dispositivos miembros de la red deben tener el mismo valor en este registro. Cuando un coordinador de la red se pone en marcha, puede establecer un identificador 'Extended PAN ID' que ya tenga preconfigurado o puede seleccionar un nuevo identificador aleatoriamente. También es en este momento cuando el coordinador selecciona el canal de trabajo de la red. Tanto para asegurarse de que el canal seleccionado es óptimo, como de que no existe duplicidad en el PAN ID elegido, el coordinador realiza una serie de escaneos por los diferentes canales de trabajo para descubrir cualquier actividad de otras redes ZigBee. Una vez completado el escaneo, elige el mejor canal de trabajo, activa 'Extended PAN ID' de 64 bits único para la red, y elige un valor para el campo de 16 bits de PAN ID para poder iniciar la red.

Este último campo de 16 bits de PAN ID se conoce como 'Operating 16-bit PAN ID'. El 'Operating 16-bit PAN ID' es único para cada dispositivo que forma parte de la red ZigBee, y se utiliza como un campo de direccionamiento MAC en el envío de información entre los dispositivos de la red. Con este campo se permite minimizar el tráfico a nivel de aplicación. El 'Operating 16-bit PAN ID' es asignado por el coordinador cuando la red se pone en marcha y se asigna a los enrutadores o dispositivos finales de la red cuando estos se unen a la misma, siendo el coordinador la única entidad con capacidad para poder asignarlo.

Una vez unido a la red, el dispositivo final ya puede enviar la información leída por los sensores al coordinador. El coordinador enviará la información al destino si es posible, y si no la almacenará hasta que pueda enviarla. Una vez enviada la información por parte del Wasmote o dispositivo final este ya puede entrar en modo 'sleep'. De igual

modo, si el Wasmote no pudiera enviar la información esta también podría entrar en modo 'sleep' tras transcurrir el tiempo programado y sin que se pierdan los datos.



4.2.- Conociendo el enlace remoto. Meshlium o router.

Meshlium es un router cuya función es hacer de puerta de enlace de la red que podamos tener montada con Wasmote. A través del router, y con la configuración adecuada remitiremos la información al punto final de almacenamiento y tratamiento de la misma. Se puede configurar hasta con cinco tipo de radios diferente en un mismo dispositivo, Wifi 2,4Ghz, Wifi 5GHz, 3G/GPRS, Bluetooth y ZigBee. También incluye la posibilidad de montar un módulo GPS para aplicaciones móviles, así como ser alimentado por baterías o paneles solares. Igual que su compañero Wasmote, está preparado para trabajar en exteriores ya que se monta dentro de una carcasa de aluminio con IP65. De igual modo posee una interfaz Web para poder configurar los diferentes parámetros de radio y de almacenamiento de datos provenientes de los Wasmote así como conexión SSH para usuarios más avanzados.

A continuación se puede ver una imagen de un Meshlium extraída del catalogo comercial de la casa Libelium:



Así meshlium es un magnífica solución que permite integrar en un solo dispositivo la coordinación de los diferentes detectores ZigBee instalados, el almacenaje de las lecturas realizadas por los Wasmote y el envío de esta información mediante Wifi a otro nodo para su posterior tratamiento.

Estas características hacen que esta solución presente algunas ventajas fundamentales frente a otras como es la reducción de costes, tanto por el número reducido de dispositivos a comprar como a mantener debido a la integración en un único dispositivo de varias funciones, como la reducción en la complejidad de instalación y configuración de los dispositivos.

Igual que sucede con su hermano Wasmote, este dispositivo tiene la opción de ser alimentado directamente desde la red eléctrica, baterías o de placas fotovoltaicas que puede llegar a ofrecer el mismo fabricante.

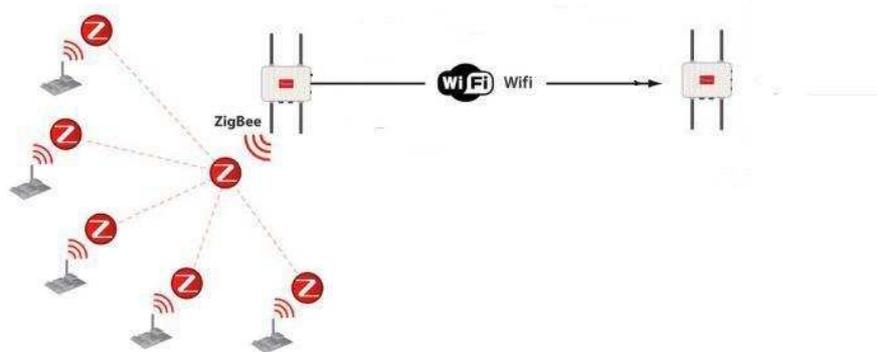
4.2.1.- El AP Meshlium. Un ‘bridge’ o puente entre la red ZigBee y Wifi.

Tal y como se ha comenzado a describir en el punto anterior, Meshlium actúa a modo de puente entre la red que podamos tener configurada con Wasmote y la red a la que deseamos enviar la información.

En nuestro caso Wasmote monta una red ZigBee, y deseamos enviar la información capturada por los diferentes módulos ZigBee instalados hasta el punto de recogida de la información que en esta ocasión es el ayuntamiento. La tecnología elegida para esta última acción es Wifi 5GHz.

De este modo, nuestro Meshlium situado en cada una de las estaciones meteorológicas, estará equipado con una radio del tipo ZigBee para poder comunicarse con los diferentes Wasmote. Al mismo tiempo, este Meshlium actúa como coordinador de la red ZigBee, siendo en todo momento el creador de esta red y el que autoriza que dispositivos se unirán a la misma tal y como se ha descrito en el capítulo de funcionamiento de la red ZigBee. Por otro lado, el mismo dispositivo Meshlium monta una radio del tipo Wifi 5GHz, que permitirá la conexión remota con el ayuntamiento.

A continuación se muestra el esquema de funcionamiento entre una estación con diferentes detectores que bajo ZigBee envían la información recabada al coordinador, un dispositivo Meshlium. Al mismo tiempo este Meshlium se conecta vía Wifi a otro Meshlium para conectar los dos emplazamientos.



4.2.2.- Topología de la red Meshlium.

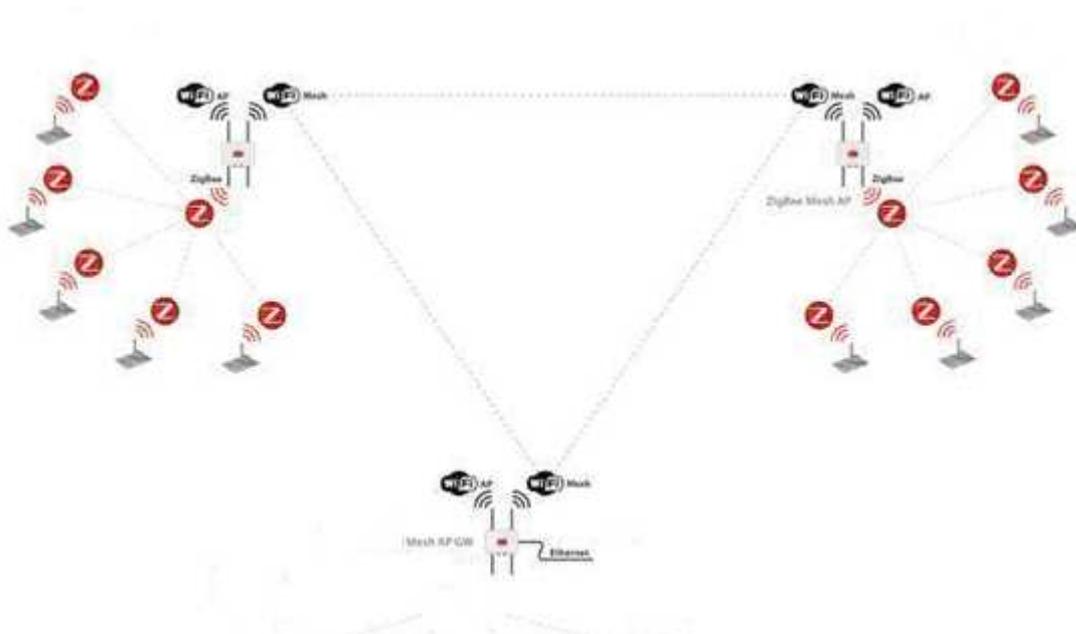
En este proyecto vamos a crear hasta cuatro nodos. Uno por cada estación meteorológica o punto de recogida de información ambiental, (tres en total), y otro para el ayuntamiento.

En cada una de las estaciones se montara un punto de acceso (AP) Wifi 5GHz que permitirá conectar los diferentes nodos de la red. En el ayuntamiento se montara otro AP Wifi 5GHz GW, es decir, un enrutador que permitirá dirigir el tráfico entre los diferentes nodos inalámbricos de las estaciones meteorológicas y la red del ayuntamiento.

El AP Wifi 5GHz GW montado en el ayuntamiento dispone de una conexión del tipo Ethernet para permitir la conexión con la red local del consistorio y de la que los otros nodos no disponen. Vemos a continuación su ubicación en el dispositivo.



La topología lógica resultante teórica de esta disposición es una red del tipo mallada. El siguiente esquema ilustra esta topología:



Sin embargo, las antenas a montar en los AP Meshlium situados en cada una de las estaciones van a ser direccionales con el fin de aumentar el alcance de los enlaces, siendo realmente la topología lógica resultante del tipo estrella. Es decir, cada uno de los nodos de cada estación se conecta directamente al nodo situado en el ayuntamiento.

4.2.3.- Características de las radios de Meshlium

Como ya se ha indicado anteriormente, Meshlium puede montar hasta 5 tipo de radios diferentes. De nuestro interés son tan solo las radio de tipo ZigBee y Wifi 5GHz.

La radio ZigBee de Meshlium trabaja como no podía ser de otro modo en la banda libre de los 2,4GHz. Puede alcanzar una potencia de transmisión de hasta 50mW, regulables, con una sensibilidad en recepción de -102dBm. De serie monta una antena del tipo dipolo con una ganancia de 5dBi. Con estas especificaciones podemos cubrir radioelectricamente los cuatro Waspnote que instalaremos en las inmediaciones para la lectura de datos.

La radio Wifi se basa en el Chipset de Atheros AR5213A, que cumple con el estándar IEEE 802.11a/b/g y que es capaz de trabajar tanto en la banda de los 2,4GHz como de los 5GHz. La potencia de transmisión es de hasta 20dB para el estándar IEEE 802.11b/g y de hasta 18dB para IEEE 802.11a. En ambos casos la potencia es regulable, y para nuestra aplicación trabajaremos bajo IEEE 802.11a. De serie el equipo se monta con una antena omnidireccional de 5dBi de ganancia en la banda de los 2,4GHz y de 8dBi en la de los 5GHz, aunque en los equipos de las estaciones montaremos antenas direccionales para mejorar el alcance de los nodos. Con estas especificaciones, y dependiendo del tipo de antena, así como de si tenemos visión directa, podemos llegar a tener enlaces separados entre 2 y 50 kilómetros.

En la siguiente tabla se muestra algunas de las tasas de transferencia obtenidas por el fabricante y reflejada en las especificaciones en función del protocolo y para distintos valores de potencia recibida:

	Protocolo		
	802.11a	802.11b	802.11g
Sensibilidad / Tasa de transferencia	-67 dBm@54 Mbps -87 dBm@6 Mbps	-87 dBm@11 Mbps -94 dBm@1 Mbps	-70 dBm@54 Mbps -87 dBm@6 Mbps

Como se podrá observar más adelante en el capítulo de análisis de funcionamiento, la estación con una peor señal recibe una potencia de unos -81dBm. Si además tenemos en cuenta que los dispositivos meshlium se configurarán para trabajar en la banda de los 5GHz, y por lo tanto bajo el estándar 802.11a, podemos ya determinar que muy probablemente obtendremos tasas de transferencia de alrededor de los 6 Mbps.

4.2.4.- Configuración IP de los Meshlium.

Uno de los parámetros de red fundamentales que debemos tener en cuenta para que todos los nodos funcionen correctamente son las direcciones IP necesarias. Para cada nodo se han planificado las siguientes direcciones de red:

Direcciones IP de cada enlace meshlium		
	Dirección IP	Gateway
Nodo Ayuntamiento Eth0	192.168.200.200/24	192.168.200.1
Nodo Ayuntamiento Wifi	192.168.200.201/24	N/A
Nodo Estación 1 Wifi	192.168.200.202/24	N/A
Nodo Estación 2 Wifi	192.168.200.203/24	N/A
Nodo Estación 3 Wifi	192.168.200.204/24	N/A

Todos los dispositivos meshlium instalados en cada nodo deberán compartir el mismo identificador de red. Se ha planificado el siguiente:

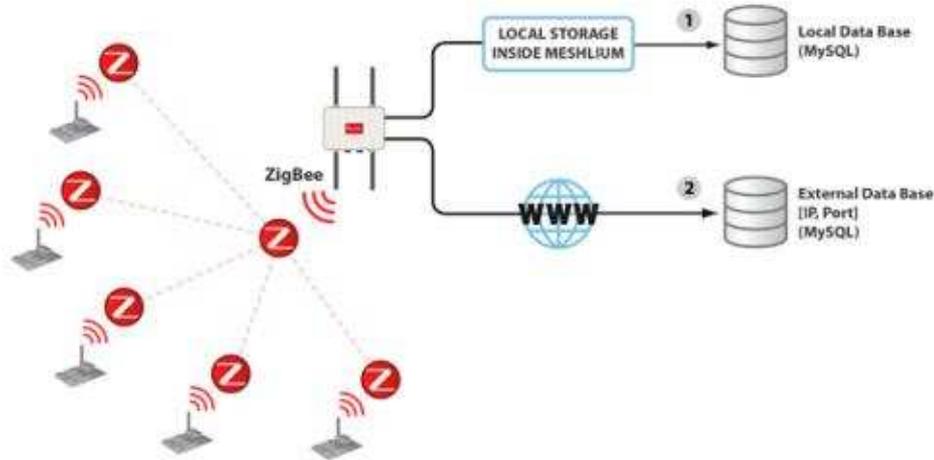
Identificación de la red Wifi	
ESSID	XarxaZigBee_Ciudad

4.2.5.- El almacenaje de la información de los Wasmote en Meshlium.

Se trata de una interesante opción que nos ofrece este dispositivo. Se suministra con un disco duro de 8 Gbytes, cuyo espacio libre es de 5,5 Gbytes que pueden ser utilizados para guardar temporalmente la información que llega de los dispositivos de detección. Estos discos se pueden sustituir por otros de mayor capacidad si fuese necesario.

Esta característica resulta más que interesante ya que ante posibles problemas de comunicación entre los nodos y el ayuntamiento el sistema asegura que los datos permanezcan almacenados hasta que sea posible reestablecer la conexión.

Lo que nos permite meshlium es crear una base de datos local en el propio dispositivo donde se irán almacenando las lecturas de los detectores ZigBee. Esta base de datos se sincronizará con las base de datos situada en un servidor externo, o del ayuntamiento en nuestro caso, cuando así se le solicite. Si la sincronización no es posible en un momento dado, los datos no se pierden ya que continúan estando en la base de datos local. El siguiente esquema ilustra esta filosofía.



4.2.6.- Las fuentes de energía de Meshlium.

El sistema de alimentación de Meshlium se basa en la norma IEEE 802.3af, donde a través de una toma o conexión Ethernet (Power Over Ethernet, PoE) se suministran todas las necesidades de corriente del dispositivo.

Este sistema proporciona diferentes ventajas como es la facilidad de instalación, la simplificación de cableado al integrarse en uno solo el cable de LAN y corriente, y el abaratamiento de costes al desaparecer la necesidad de instalaciones eléctricas adicionales.

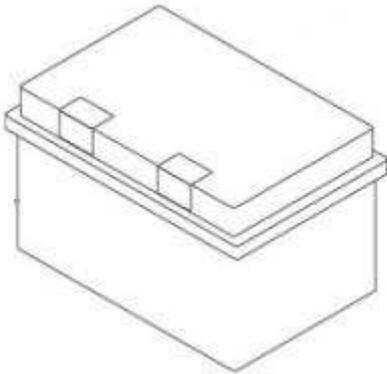
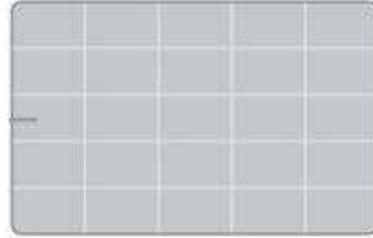
Sin embargo, solo podremos aprovechar estas ventajas para el dispositivo meshlium a instalar en el nodo del ayuntamiento, que podrá ser alimentado sobre PoE. Para los nodos de las estaciones deberemos buscar otras alternativas.



Así, las alternativas pasan por instalar un sistema de alimentación autónomo, que constará fundamentalmente de tres elementos: panel solar, batería e inversor de corriente.

El panel solar es suministrado por el mismo fabricante de meshlium. La máxima potencia de salida que puede llegar a suministrar es de 20 W. con una tensión de 17 V. y una corriente máxima de 1,15A. Las dimensiones del panel solar son de 480x430x30 mm con un peso de unos 2,5 Kg. Se suministra con los herrajes necesarios para su colocación en un mástil. El panel solar

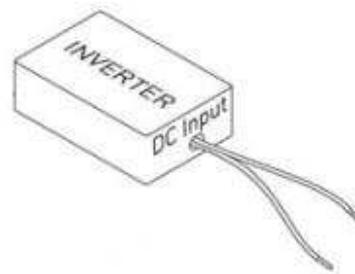
deberá cargar la batería durante las horas de radiación solar.



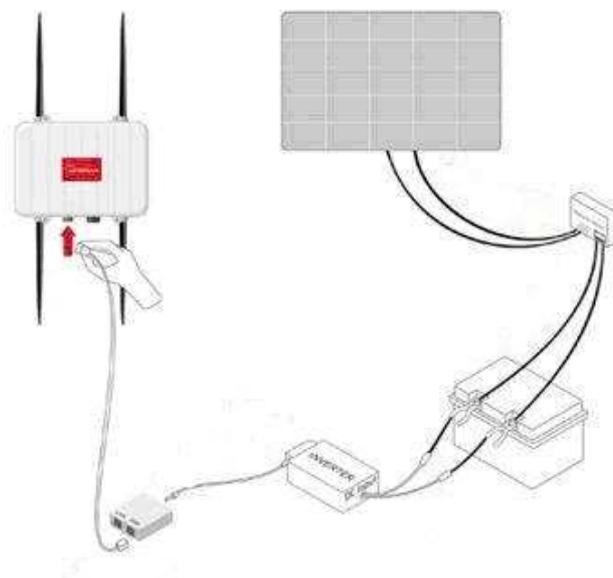
La batería es el elemento que alimentará el meshlium en todo momento. No la suministra el fabricante, con lo que se

ha seleccionado una en el mercado. La batería elegida se distribuye como ideal para aplicaciones de energía solar. Es de la marca RPower, con una tensión de salida de 12 V. y una carga máxima de 65 Ah. Esta carga es más que suficiente para alimentar el dispositivo durante varios días. Sus dimensiones son 350x167x186mm y deberá alojarse en un armario eléctrico estanco para protegerla de la climatología.

El invertidor de corriente es el elemento encargado de adaptar la corriente suministrada por la batería (continua y de 12 V.) a la requerida por el meshlium (220 V. y alaterna). La potencia máxima de salida del invertidor es de 600 W., con unas dimensiones de 205x165x67mm y un peso aproximado de 1Kg. Irá alojado en el armario estanco junto con la batería.



El montaje de todos los elementos que formarán el sistema de alimentación de meshlium queda esquematizado por la siguiente figura:



Como se puede observar, el montaje es extremadamente sencillo y no requiere de una especial capacitación técnica lo que permite que sea rápidamente ejecutado. No se visualiza el armario eléctrico para la colocación de la batería y el inversor, aunque se detalla en el presupuesto final.

4.3.- Características de los enlaces entre estaciones y ayuntamiento.

Está previsto que los enlaces con el ayuntamiento sean punto a punto. Cada uno de los “meshlium” situados en las estaciones meteorológicas deberán montar antenas direccionales enfocadas hacia el ayuntamiento. Se configurarán en la banda de los 5 GHz, concretamente entre los 5470-5725 MHz. Por un lado estamos trabajando en la banda libre, y por otro evitamos las interferencias que nos podemos encontrar en entornos urbanos en la banda también libre de los 2,4 GHz, debido fundamentalmente a una saturación de esta banda por la multitud de equipos instalados tanto en hogares como empresas. La PIRE está limitada a 1 W.

El equipo a montar en el ayuntamiento dispondrá de una antena omnidireccional y que se suministra con el equipo. Tiene una ganancia de 5dBi en la banda de los 2,4 Ghz y de 8 dBi en los 5 Ghz.

Las antenas de los enlaces de las estaciones meteorológicas serán direccionales, preparadas para trabajar a la intemperie y con especificaciones 802.11a para un rango de trabajo de entre los 5.100 y 5.900 Ghz. Presentan una ganancia de 23,5 dBi con un ancho de haz de 10º, tanto horizontal como vertical.

En cuanto a la capacidad de transmisión de información del los enlaces deberemos tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cada lectura recogida por una de las sondas montadas en un ‘Waspnote’ ocupa unos 100 Bytes.
- Se estima que para una medición óptima de los parámetros medioambientales será necesario tomar lecturas de las diferentes sondas instaladas cada dos horas.
- Cada módulo Waspnote Environment tiene instaladas tres sondas de medida.
- Cada módulo Waspnote Smart Cities tiene instalada una sonda de medida.
- En cada estación se montan dos módulos Waspnote Environment y dos módulos Waspnote Smart Cities.
- Cada módulo Waspnote dispone de una tarjeta de memoria tipo SD para guardar lecturas de hasta 2 Gb de capacidad.
- Dado que el envío de información es una de las tareas que representa mayor consumo energético para los módulos de ZigBee, estos se configurarán para realizar las transmisiones una vez cada 24 horas. Preferiblemente entre las 12 h. y las 14 h. de forma alternativa; y donde las condiciones meteorológicas tienden a ser más favorables tanto para la comunicación vía radio, como para que los sistemas de alimentación se vean apoyados en caso de necesidad por las placas solares instaladas en cada módulo.

- Los cuatro Waspote de cada estación se situarán sobre el mismo mástil en el que se monta el meshlium y la antena direccional hacia el ayuntamiento minimizando los costes de instalación. Se estima que el dispositivo ZigBee más alejado del coordinador estará situado a unos 10 metros sobre la vertical.
- El tamaño del campo de información de un paquete ZigBee es configurable, y no debería superar los 1500 Bytes.
- Las diferentes cabeceras de información MAC y de acceso físico al medio pueden llegar a ocupar un tamaño de hasta 31 Bytes.
- Con ZigBee podemos alcanzar tasas de transmisión de hasta 250 kbps. Establecemos nuestras necesidades de ancho de banda en 62,5 kbps, una cuarta parte.

Recordemos que una de las características de ZigBee es la implementación de redes con necesidades de tasas de envío bajas. Lo expuesto anteriormente se puede resumir en el siguiente cuadro:

Resumen necesidades de tasa de transmisión entre módulos ZigBee

	Módulo Smart Cities	Módulo Environment
Nº de Sondeas	1	3
Tamaño datos (Bytes)	100	100
Nº Bytes/hora	100	300
Nº Bytes/día	2400	7200
Tamaño cabecera paquete ZigBee (Bytes)	31	31
Tamaño de datos campo ZigBee (Bytes)	1500	1500
Total Bytes a transmitir	3000	7500
Total bits a transmitir (kbps)	24	60
Requerimientos proyecto v. Tx (kbps)	62,5	62,5
Sensibilidad receptor (dBm)	102	102

De la tabla anterior, y añadiendo el tamaño de las diferentes cabeceras (unos 60 bytes para TCP/IP y 802.11) podemos deducir fácilmente las necesidades mínimas de transmisión para los enlaces entre las estaciones meteorológicas y el ayuntamiento:

Resumen necesidades de tasa de transmisión enlaces Wifi 5 GHz

Nº de Bytes máximo a enviar	7500
MSS TCP/IP (Bytes)	536
Total Paquetes información TCP/IP 802.11	14

Nº total de Bytes de información a enviar	8344
-------------------------------------------	------

En Kbps	65,2
---------	------

Si además de las necesidades actuales valoramos la posibilidad de que la red de sensores crezca, y/o la necesidad de aprovechar los enlaces estaciones-ayuntamiento para otras necesidades que puedan surgir en el futuro, podemos establecer unos requerimientos de ancho de banda más ambiciosos, y fijarlos en 1 Mbps por estación.

Nodo	Distancia	Ancho de Banda
Cualquier sensor - Cualquier estación	10 m.	62,5 Kbps
Estación 1 - Ayuntamiento	1.620 m.	1 Mbps
Estación 2 - Ayuntamiento	2.910 m.	1 Mbps
Estación 3 - Ayuntamiento	1.460 m.	1 Mbps

4.4.- La autonomía eléctrica de Waspote.

Para conocer con exactitud la autonomía de los dispositivos ZigBee, debemos conocer su consumo aproximado trabajando con las diferentes sondas, así como la capacidad de recarga que tiene el panel solar instalado. A continuación se calcula el consumo y recarga de la batería del Waspote con mayor número de sondas, que corresponde al caso más extremo.

Algunas características:

Capacidad de carga de la batería: 6,6 Ah
 Potencia de carga panel externo: 3 W. con corriente de 520 mA.
 Número de horas de carga máxima: 6 horas.

Lecturas de las sondas cada dos horas.
 Consumo de la sonda de dióxido de carbono: 50mA en 90s.
 Consumo de la sonda de dióxido de nitrógeno: 26mA en 30s.
 Consumo de la sonda de metano: 61mA en 30s
 Consumo envío de datos al coordinador: 105 mA
 Consumo modo 'Sleep': 710uA

Los cálculos:

Consumo total de 1 día de trabajo del Waspote: 1,68 A.
 (137mA x 12 lecturas + 105mA + 710uA x 23 horas)

Capacidad de carga del panel solar en 1 día: 3,12 A.
 (6 horas x 520mA)

Por lo tanto, de los cálculos anteriores se desprende que los Waspote son a priori completamente autónomos en cuanto a consumo eléctrico.

4.5.- La autonomía eléctrica de Meshlium.

Igual que en el caso del Waspote, es más que conveniente conocer la autonomía eléctrica de los Meshlium. A continuación se muestran los cálculos, que son idénticos para los tres nodos de cada una de las estaciones. Como ya se ha indicado con anterioridad, el Meshlium del nodo del ayuntamiento se alimenta a través de PoE del propio ayuntamiento.

Algunas características:

Capacidad de carga de la batería: 65 Ah
 Potencia de carga panel externo: 20 W. con corriente de 1,15A.
 Número de horas de carga máxima: 6 horas.

Lecturas de los cuatro Wasmote cada 24 horas
Consumo medio: 270 mA

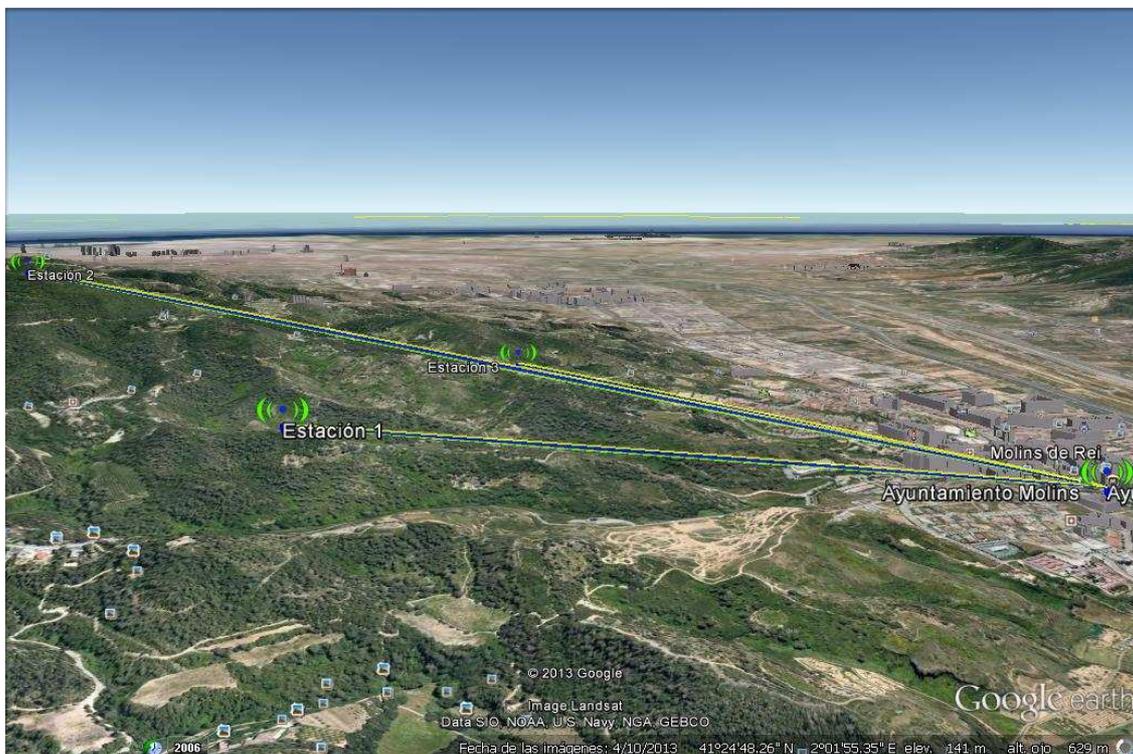
Los cálculos:

Consumo total de 1 día de trabajo del Meshlium: 6,48 A.
(270mA x 24 horas)

Capacidad de carga del panel solar en 1 día: 6,9 A.
(6 horas x 1,15A)

Como se puede deducir a partir de los cálculos anteriores, los tres meshlium son a priori independientes en cuanto a consumo eléctrico.

Estación 1	41°25'15,5" N 002°02'08,8" E
Estación 2	41°24'53,4" N 002°03'08,2" E
Estación 3	41°24'45,8" N 002°02'03,7" E
Ayuntamiento	41°24'58,1" N 002°01'02,7" E

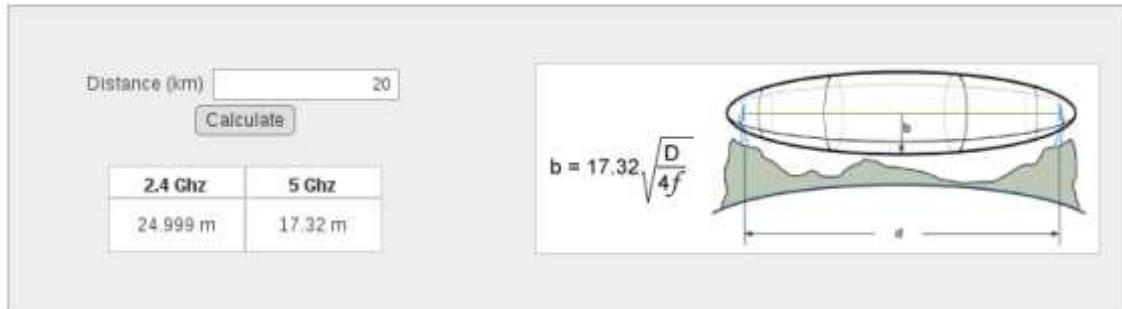


De este modo, para el estudio de cobertura que llevaremos a cabo en las siguientes páginas deberemos tener en cuenta diferentes parámetros:

- Sensibilidad del receptor, o potencia mínima que debe llegarle para que funcione correctamente. En nuestro caso, los dispositivos ‘meshlium’ cuando funcionan como AP requieren de unos valores de sensibilidad mínimos de -100dBm.
- Ganancia de la antena del receptor. En nuestro caso se trata de una antena omnidireccional, proporcionada por el mismo fabricante del ‘meshlium’ con unos valores de ganancia de 8 dBi a 5 GHz. Quedará situada, junto con el punto de acceso, en un mástil sobre la azotea del ayuntamiento y con una altura sobre el suelo de 35 metros que facilitará la visión directa con las antenas direccionales de las diferentes estaciones meteorológicas.
- Ganancia de la antena del emisor. Este tipo de antenas están situadas en cada una de las estaciones meteorológicas, y presenta de una ganancia de 23,5 dBi en el rango de los 5 Ghz.

- Potencia del transmisor. El módulo de alta potencia en los 5 Ghz para wifi de nuestro 'meshlium' y que trabaja bajo 802.11a presenta una potencia de emisión de hasta 28dBm.
- Distancia. En función de la distancia entre el emisor y receptor obtendremos más o menos pérdidas. Cada una de las estaciones se encuentra en diferentes ubicaciones y por lo tanto distancias, con lo que se hace necesario un análisis individual de cobertura para cada una de ellas.
- Frecuencia. Es otro parámetro crítico para el estudio de cobertura. Cada una de las estaciones trabajará en un canal diferente de los disponibles en la banda de los 5470MHz-5725MHz. Pese a ello, los cálculos realizados a continuación se realizarán para todas las estaciones en la frecuencia más crítica, es decir, para aquella frecuencia en la que obtenemos peores resultados de sensibilidad. El objetivo es claro, asegurar la transmisión en cualquier situación.
- Potencia recibida. Se trata del valor de potencia que llegará al receptor. Este valor debe ser superior a la sensibilidad mínima del dispositivo receptor. Realizaremos el cálculo de la potencia recibida a través del método de espacio libre, para lo que se presupone que no existen interferencias entre el emisor y el receptor y que el valor de potencia recibido depende de la ganancia de las antenas, la potencia transmitida, la distancia entre emisor y receptor y la frecuencia de trabajo.
- Zona de Fresnel. Se trata del radio mínimo disponible libre de obstáculos entre la línea de transmisión. El software que integra el AP dispone de una herramienta para facilitar estos cálculos.

Fresnel parameters



2.4 Ghz	5 Ghz
24.999 m	17.32 m

$$b = 17.32 \cdot \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

5.1.- Estudio de cobertura de los nodos Wifi.

A continuación se muestran los cálculos teóricos para la primera zona de Fresnel y de la potencia recibida para cada una de los nodos Wifi en función de los parámetros descritos anteriormente y que se encuentran en las diferentes hojas de especificaciones de los dispositivos utilizados, así como los resultados obtenidos con el software Radio Mobile para la simulación de redes.

Enlace entre la Estación 1 y el Ayuntamiento

Distancia al ayuntamiento: 1.620 metros.

Cálculo de la primera zona de Fresnel:

$$b = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4f}} = 17,32 \sqrt{\frac{1,62}{4 \cdot 5,4}} = 4,74F1$$

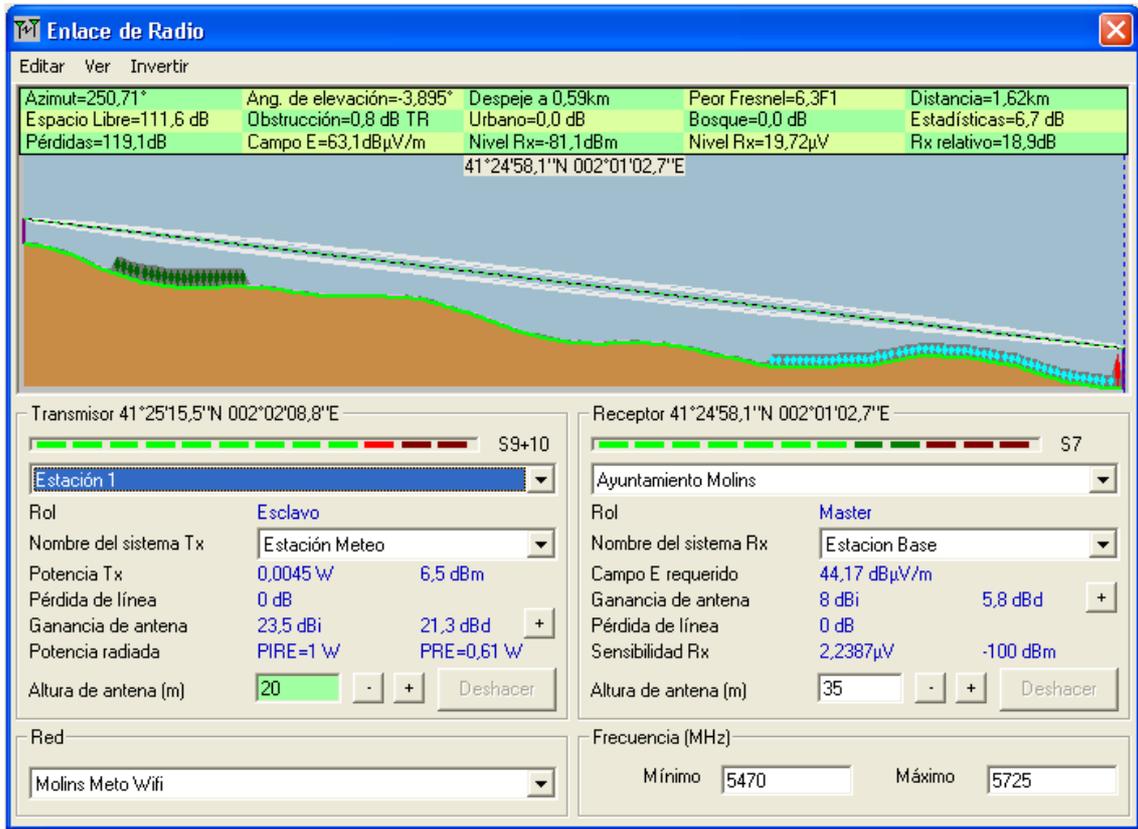
Cálculo de la potencia recibida para el método de espacio libre y distancia 1620 metros.

$$P_R [dBm] = P_T [dBm] + G_T [dB] + G_R [dB] - 20 \cdot \log((4\pi d) / \lambda)$$

$$P_T [dBm] + G_T [dB] = PIRE_{[MAX]} = 1W = 30dBm$$

$$P_R [dBm] = 30 + 5,86 - 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi 1620}{c/5720Mhz}\right)$$

$$P_R [dBm] = 35,86 - 111,78 = -75,92$$



Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Azimut=250,71°	Ang. de elevación=-3,895°	Despeje a 0,59km	Peor Fresnel=6,3F1	Distancia=1,62km
Espacio Libre=111,6 dB	Obstrucción=0,8 dB TR	Urbano=0,0 dB	Bosque=0,0 dB	Estadísticas=6,7 dB
Pérdidas=119,1dB	Campo E=63,1dBμV/m	Nivel Rx=-81,1dBm	Nivel Rx=19,72μV	Rx relativo=18,9dB

41°24'58,1"N 002°01'02,7"E

Transmisor 41°25'15,5"N 002°02'08,8"E

Receptor 41°24'58,1"N 002°01'02,7"E

Estación 1

Rol: Esclavo

Nombre del sistema Tx: Estación Meteo

Potencia Tx: 0,0045 W 6,5 dBm

Pérdida de línea: 0 dB

Ganancia de antena: 23,5 dBi 21,3 dBd

Potencia radiada: PIRE=1 W PRE=0,61 W

Altura de antena (m): 20

Red: Molins Meto Wifi

Ayuntamiento Molins

Rol: Master

Nombre del sistema Rx: Estacion Base

Campo E requerido: 44,17 dBμV/m

Ganancia de antena: 8 dBi 5,8 dBd

Pérdida de línea: 0 dB

Sensibilidad Rx: 2,2387μV -100 dBm

Altura de antena (m): 35

Frecuencia (MHz): Mínimo 5470 Máximo 5725

Enlace entre la Estación 2 y el Ayuntamiento

Distancia al ayuntamiento: 2.910 metros.

Cálculo de la primera zona de Fresnel:

$$b = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4f}} = 17,32 \sqrt{\frac{2,91}{4 \cdot 5,4}} = 6,35F1$$

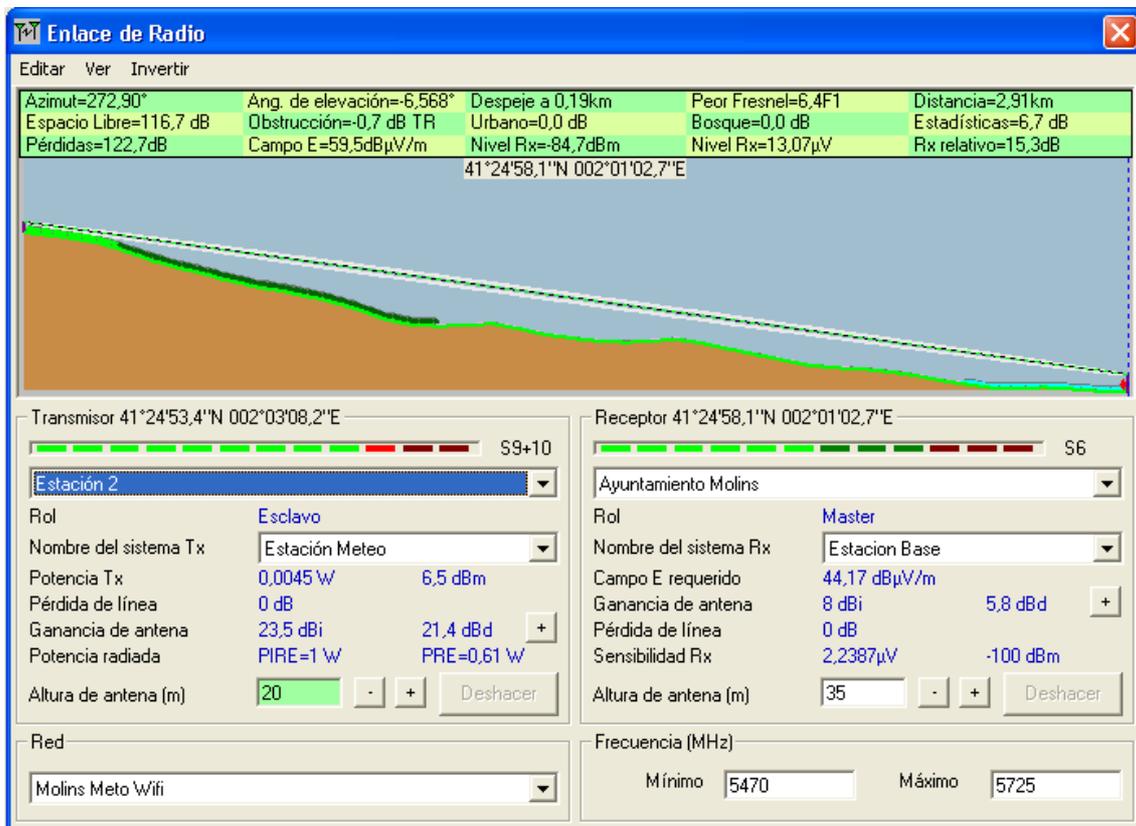
Cálculo de la potencia recibida para el método de espacio libre y distancia 2910 metros.

$$P_R [dBm] = P_T [dBm] + G_T [dB] + G_R [dB] - 20 \cdot \log((4\pi d) / \lambda)$$

$$P_T [dBm] + G_T [dB] = PIRE_{[MAX]} = 1W = 30dBm$$

$$P_R [dBm] = 30 + 5,86 - 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi 2910}{c/5720Mhz}\right)$$

$$P_R [dBm] = 35,86 - 116,86 = -81$$



Enlace de Radio

Editar Ver Invertir

Azimut=272,90°	Ang. de elevación=-6,568°	Despeje a 0,19km	Peor Fresnel=6,4F1	Distancia=2,91km
Espacio Libre=116,7 dB	Obstrucción=-0,7 dB TR	Urbano=0,0 dB	Bosque=0,0 dB	Estadísticas=6,7 dB
Pérdidas=122,7dB	Campo E=59,5dBμV/m	Nivel Rx=-84,7dBm	Nivel Rx=13,07μV	Rx relativo=15,3dB

41°24'58,1"N 002°01'02,7"E

Transmisor 41°24'53,4"N 002°03'08,2"E S9+10

Receptor 41°24'58,1"N 002°01'02,7"E S6

Estación 2	Ayuntamiento Molins
Rol: Esclavo	Rol: Master
Nombre del sistema Tx: Estación Metro	Nombre del sistema Rx: Estacion Base
Potencia Tx: 0,0045 W (6,5 dBm)	Campo E requerido: 44,17 dBμV/m
Pérdida de línea: 0 dB	Ganancia de antena: 8 dBi (5,8 dBd)
Ganancia de antena: 23,5 dBi (21,4 dBd)	Pérdida de línea: 0 dB
Potencia radiada: PIRE=1 W (PRE=0,61 W)	Sensibilidad Rx: 2,2387μV (-100 dBm)
Altura de antena (m): 20	Altura de antena (m): 35

Red: Molins Metro Wifi

Frecuencia (MHz): Mínimo 5470, Máximo 5725

Enlace entre la Estación 3 y el Ayuntamiento

Distancia al ayuntamiento: 1.460 metros.

Cálculo de la primera zona de Fresnel:

$$b = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4f}} = 17,32 \sqrt{\frac{1,46}{4 \cdot 5,4}} = 4,5F1$$

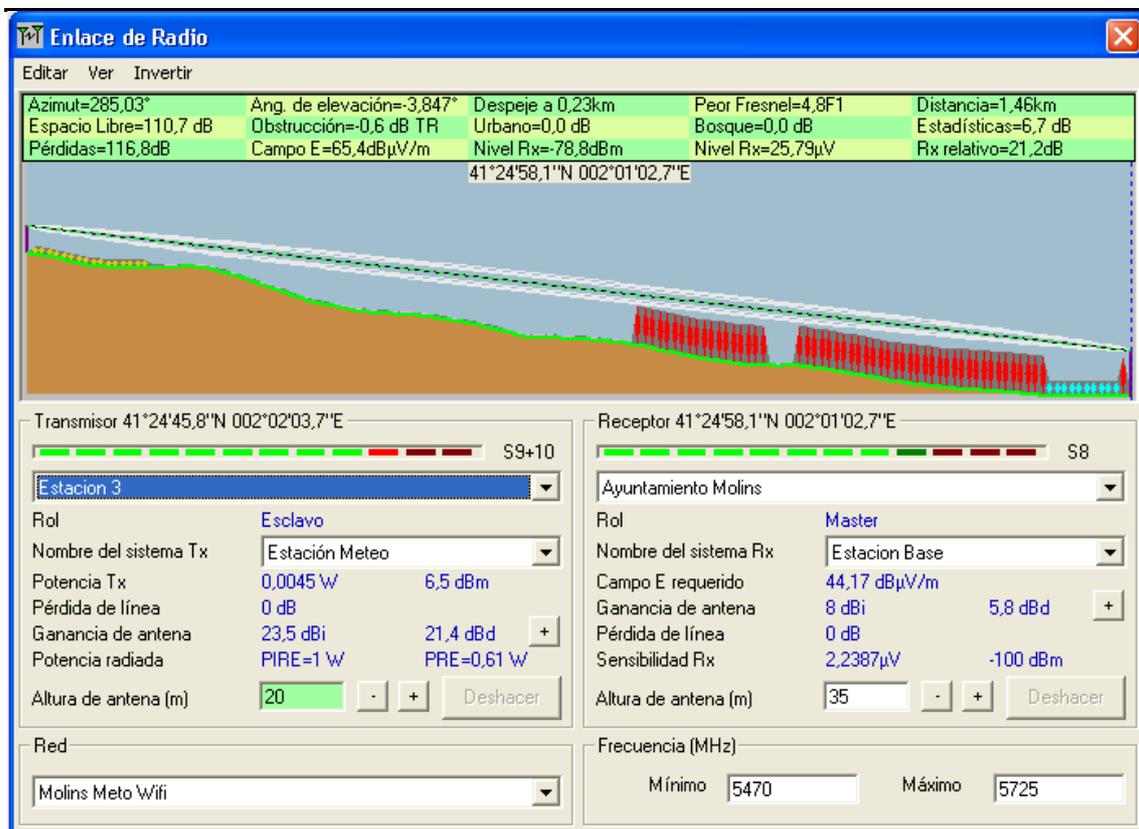
Cálculo de la potencia recibida para el método de espacio libre y distancia 1460 metros.

$$P_R [dBm] = P_T [dBm] + G_T [dB] + G_R [dB] - 20 \cdot \log((4\pi d) / \lambda)$$

$$P_T [dBm] + G_T [dB] = PIRE_{[MAX]} = 1W = 30dBm$$

$$P_R [dBm] = 30 + 5,86 - 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi 1460}{\frac{c}{5720MHz}}\right)$$

$$P_R [dBm] = 35,86 - 110,87 = -75,01$$



En la siguiente cuadro resumen podemos observar y comparar los principales parámetros que determinan éxito de los enlaces entre el ayuntamiento y las diferentes estaciones meteorológicas:

Parámetros Estudio de Cobertura	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Ayuntamiento
Distancia al Ayuntamiento (metros)	1.620	2.910	1.460	
Ganancia antenas	23,5 dBi			8 dBi
Clase de antenas	Direccional 10°			Omnidireccional 360°
Frecuencia de trabajo	5470MHz-5725MHz			
Canal	Indiferente			
Protocolo	802.11a			
Cálculo 1ª Zona de Fresnel	4,74	6,35	4,50	
Peor Fresnel Radio Mobile	6,30	6,40	4,80	
Atenuación del canal	111,78 dB	116,86 dB	110,87 dB	
Atenuación conectores & cables	N/A			
Potencia transmisor	28 dBm			
Limite UN-128 P. emitida	30 dBm			
Potencia recibida	- 75,92 dBm	- 81 dBm	- 75,01 dBm	
Sensibilidad del receptor	- 100 dBm			

A partir tanto del cuadro anterior que resume los datos obtenidos teóricamente como los obtenidos prácticamente a través de Radio Mobile podemos asegurar que:

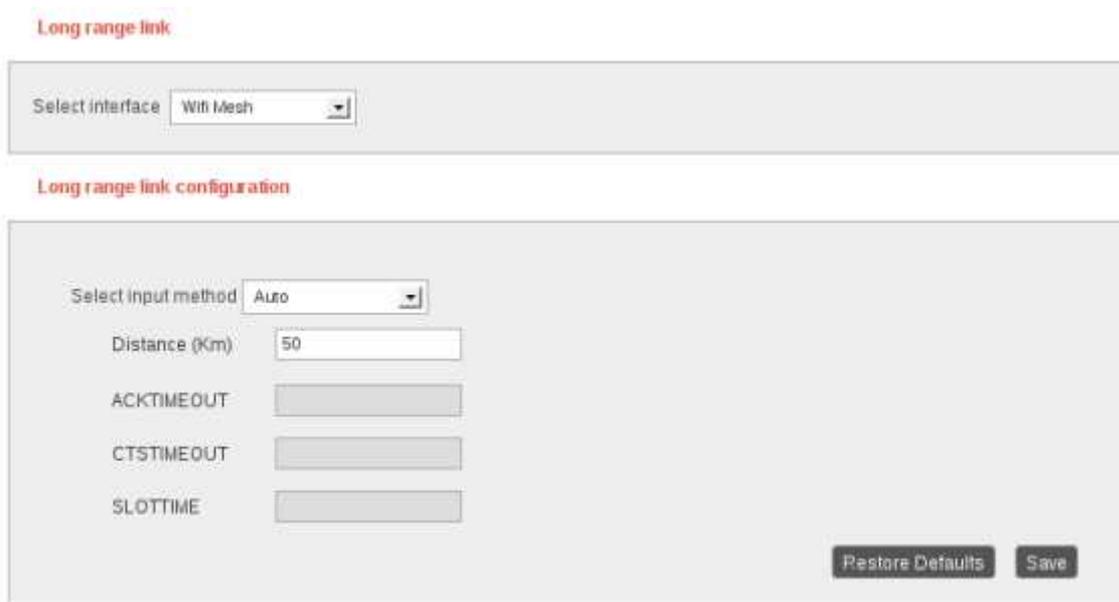
- Para los tres enlaces se cumplen los requisitos de área mínima despejada entre un receptor y transmisor que se calculan mediante 'Zona de Fresnel'.
- Los valores de potencia recibida, -78 dBm de media, son superiores a los valores de límite de sensibilidad marcados por el fabricante (-100dBm) con lo que será posible la transmisión entre los enlaces.
- Los enlaces Wifi se llevarán a cabo bajo el estándar IEEE 802.11a. Para este estándar, el fabricante marca que se pueden llegar a conseguir tasas de transferencia de hasta 6Mbps para unos valores de -87dBm. Estas tasas son más que suficientes para alcanzar los requerimientos de transferencia de información que se habían marcado inicialmente en 1Mbps por enlace.

5.1.1.- Parámetros a tener en cuenta en el estándar 802.11a para un correcto funcionamiento de los nodos Wifi.

Tal y como introduce el Dr. Francisco Javier Simo en el documento ‘Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo’ son varios los fabricantes que introducen modificaciones en el estándar 802.11 con el fin de conseguir adaptarlo a su uso en distancias más largas a las previstas inicialmente.

Como consecuencia, algunos de los servicios previstos inicialmente quedan deshabilitados, como puede ser el de autenticación. También se produce una segunda consecuencia, y es que la compatibilidad entre dispositivos de diferentes marcas desaparece.

En nuestro caso, ‘meshlium’ también permite alterar diferentes parámetros del protocolo 802.11a para conseguir enlaces de hasta 50 Km. (con antenas direccionales y visión directa). La interfaz de configuración del AP nos facilita el trabajo enormemente, ya que si trabajamos en modo “Auto” tan solo tenemos que introducir la distancia entre los enlaces para que él mismo establezca los valores óptimos para los parámetros de la capa MAC, (ACKTIMEOUT, CTSTIMEOUT y SLOTTIME) y se pueda conseguir el enlace.



Si lo deseamos, también podemos introducir manualmente estos parámetros y optimizar el enlace.

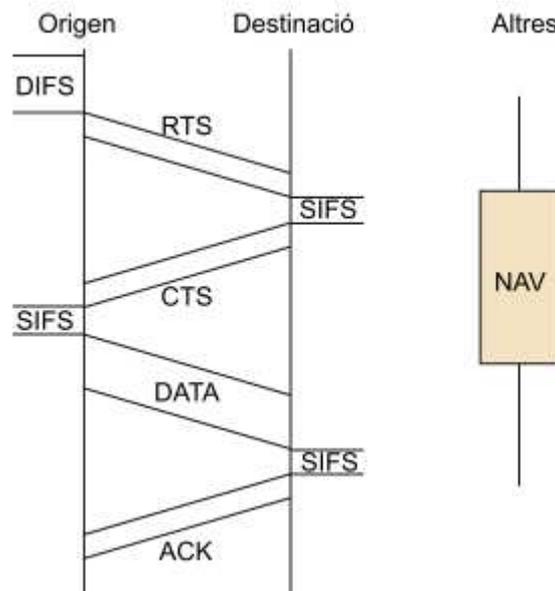
Recordemos que función desempeñan estos parámetros dentro de la capa MAC:

ACKTIMEOUT. Un destinatario que ha recibido correctamente una trama de datos enviará un paquete del tipo ACK al origen para informarle de que ha recibido el paquete. Con la llegada de este paquete ACK el emisor sabe que la comunicación ha tenido éxito. En el protocolo 802.11 se establece un tiempo máximo para la llegada de este paquete

de reconocimiento ACK. Si transcurrido este tiempo no se recibe el paquete el emisor entiende que ha existido una colisión o cualquier otro problema y volverá a enviar la información.

Pero puede suceder simplemente que debido al canal (a la distancia) los tiempos de transmisión sean mayores a los inicialmente previstos, y tengamos que adaptan este parámetro ACKTIMEOUT a las nuevas circunstancias.

CTSTIMEOUT. En el protocolo 802.11 se pueden utilizar las tramas RTS/CTS para la reserva del canal. De este modo, un emisor envía una trama RTS indicando la duración de la trama de datos que quiere enviar y el receptor devuelve la trama CTS accediendo explícitamente a la comunicación con este. La trama CTS la reciben todos los nodos, con lo que el resto de las estaciones saben que no han de transmitir para no interferir en la comunicación que se está llevando a cabo. CTSTIMEOUT especifica este tiempo, que variará en función de la distancia entre los nodos.



SLOTTIME. Hace referencia al tiempo que tiene asignado un nodo a transmitir información. A mayor distancia, se hace necesario más tiempo.

5.2.- Estudio de cobertura de los nodos ZigBee.

Los cuatro detectores (Wasmote) que formarán parte de cada estación se colocarán a una distancia aproximada de 10 metros del punto de acceso ZigBee (Meshlium). Como la distancia puede ser diferente en cada caso en función del emplazamiento elegido, y con el fin de asegurar el funcionamiento de la red, los cálculos se realizarán suponiendo que la distancia es mayor, 20 metros.

Para el cálculo se ha tomado como referencia la situación del router de la estación 1, que al mismo tiempo actúa como coordinador ZigBee, y se ha situado una Wasmote a una distancia de 20 metros. El estudio de cobertura de este enlace es extrapolable al resto de enlaces Wasmote-Meshlium tipo ZigBee de cada una de las estaciones meteorológicas montadas.

Enlace ZigBee entre un Wasmote y Meshlium.

Cálculo de la primera zona de Fresnel:

$$b = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4f}} = 17,32 \sqrt{\frac{0,02}{4 \cdot 2,4}} = 0,80F1$$

Cálculo de la potencia recibida para el método de espacio libre y distancia 1620 metros.

$$P_R[dBm] = P_T[dBm] + G_T[dB] + G_R[dB] - 20 \cdot \log((4\pi d) / \lambda)$$

$$P_T[dBm] + G_T[dB] = PIRE_{MAX} = 0,1W = 20dBm$$

$$P_R[dBm] = 20 + 2,80 - 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi 20}{c/2405Mhz}\right)$$

$$P_R[dBm] = 22,80 - 66,08 = -43,28$$

En la siguiente cuadro resumen podemos observar y comparar los principales parámetros que determinan éxito de los enlaces ZigBee entre una Meshlium y un Wasmote cualquiera.

Estudio de Cobertura ZigBee	Wasmote	Meshlium
Distancia al coordinador (metros)	20	
Ganancia antenas	5 dBi	5 dBi
Clase de antenas	Omnidireccional 360°	
Frecuencia de trabajo	2,40GHz-2,48GHz	
Canal	Indiferente	
Protocolo	ZigBee	
Cálculo 1ª Zona de Fresnel	0,80	
Peor Fresnel Radio Mobile	7,30	
Atenuación del canal	66,08 dB	
Atenuación conectores & cables	N/A	
Potencia emitida	20 dBm	
Limite UN-128 P. emitida	20 dBm	
Potencia recibida	- 43,28 dBm	
Sensibilidad del receptor	- 102 dBm	

Enlace de Radio ✕

Editar Ver Invertir

Azimut=180,54°	Ang. de elevación=8,901°	Despeje a 0,01km	Peor Fresnel=7,3F1	Distancia=0,02km
Espacio Libre=64,8 dB	Obstrucción=0,6 dB TR	Urbano=0,0 dB	Bosque=0,0 dB	Estadísticas=4,2 dB
Pérdidas=69,6dB (4)	Campo E=97,4dBµV/m	Nivel Rx=-42,5dBm	Nivel Rx=1679,41µV	Rx relativo=59,5dB

41°25'15,5"N 002°02'08,8"E

Transmisor 41°25'16,0"N 002°02'08,8"E

S9+40

ZigBee Wasmote Esta

Rol: Esclavo

Nombre del sistema Tx: ZigBee Wasmote

Potencia Tx: 0,0519 W 17,15 dBm

Pérdida de línea: 0 dB

Ganancia de antena: 5 dBi 2,8 dBd +

Potencia radiada: PIRE=0,16 W PRE=0,1 W

Altura de antena (m): 5 - + Deshacer

Receptor 41°25'15,5"N 002°02'08,8"E

S9+40

ZigBee Meshlium Esta

Rol: Master

Nombre del sistema Rx: ZigBee Meshlium

Campo E requerido: 37,94 dBµV/m

Ganancia de antena: 5 dBi 2,8 dBd +

Pérdida de línea: 0 dB

Sensibilidad Rx: 1,7783µV -102 dBm

Altura de antena (m): 5 - + Deshacer

Red

Red de sensores ZigBee

Frecuencia (MHz)

Mínimo: 2405 Máximo: 2465

A partir tanto del cuadro anterior que resume los datos obtenidos teóricamente como los obtenidos prácticamente a través de Radio Mobile podemos asegurar que:

- Todos los dispositivos ZigBee cumplen los requisitos de área mínima despejada entre un receptor y transmisor que se calculan mediante 'Zona de Fresnel'. Hay que recordar que se encontrarán en el mismo mástil en el que se aloja el coordinador o meshlium.
- Los valores de potencia recibida, -44dBm de media, son superiores a los valores de limite de sensibilidad marcados por el fabricante (-102dBm) con lo que será posible la transmisión entre los diferentes dispositivos ZigBee, siendo recomendable reducir la potencia de emisión para ajustar los consumos de batería al máximo.

6- Presupuesto.

Sobre estas líneas se realiza una estimación del coste de instalación de la infraestructura necesaria para la puesta en marcha del proyecto.

A continuación se muestra el coste de instalación de una estación meteorológica. Cada una de las instalaciones consta de 4 dispositivos de recogida de información y un punto de acceso con sus accesorios para el envío de la información hasta el ayuntamiento. No se presupuesta el coste de instalación del mástil o torreta para alojar la antena del equipo que realiza el enlace con el consistorio.

Estación completa	Referencia	Precio	Unid.
Waspmote, base de detección Environment			
Plug & Sense! EN ZB-PRO 5dBi (Environment)	EN-ZB	460 €	2
6600mAh rechargeable battery + internal solar panel 6.5V - 205mA	6600-INT	36 €	2
Sensores para base Environment			
CO2	9230-P	60 €	2
NO2	9238-P	21 €	2
Volatile Organic Compounds	9201-P	21 €	2
Waspmote, base de detección Smart Cities			
Plug & Sense! SC ZB-PRO 5dBi (Smart Cities)	SC-ZB	460 €	2
6600mAh rechargeable battery + internal solar panel 6.5V - 205mA	6600-INT	36 €	2
Sensores para base Smart Cities			
Dust -PM10	9320-P	45 €	2
Meshlium, enlace			
Meshlium 802.15.4-PRO-Mesh-AP	MM802	765 €	1
Solar kit (12V – 20W): solar panel 20W + 220V inverter + battery charger	MSOLAR	350 €	1
Cuadro eléctrico estanco para alojamiento batería (IP65)		692 €	1
Cable eléctrico, tornillería y varios		50 €	1
Batería Rpower Gel 12V 65Ah		177 €	1
ANTENA WIFI 5 Ghz 23,5 dB MINI PANEL ELBOXRF	LANT523	45 €	1
Mano de obra para configuración y pruebas		40 €	20

Total configuración 1 estación	5.157 €
---------------------------------------	----------------

En la siguiente tabla se desglosa el coste de instalación del enlace situado sobre el ayuntamiento y que conectará con los servidores para almacenar y procesar la información recibida.

Enlace Ayuntamiento	Referencia	Precio	Unid.
Meshlium, enlace			
Meshlium 802.15.4-PRO-Mesh-AP	MM802	765 €	1
Cable eléctrico, tornillería y varios		50 €	1
Mano de obra para configuración y pruebas		40 €	4

Total configuración enlace Ayuntamiento	975 €
------------------------------------------------	--------------

Por último, se muestra el coste total de la puesta en funcionamiento de las tres estaciones, el nodo del ayuntamiento y el total de horas de ingeniería para el diseño de la red.

Enlace ayuntamiento + 3 estaciones meteo	Precio	Unid.
Configuración estación	5.157 €	3
Configuración ayuntamiento	975 €	1
Ingeniería red (Incluye estudio y diseño)	65 €	40

Total proyecto estaciones meteorológicas	19.046 €
-------------------------------------------------	-----------------

Viabilidad económica del proyecto:

El ayuntamiento de Molins de Rei, con una población de unos 25.000 habitantes prevé que su presupuesto municipal para el próximo año 2014 sea de 26,1 millones de €. La cifra destinada a inversiones es de 1.750.205 €, de los cuales 762.000 € serán destinados a pequeñas mejoras y mantenimiento de espacios públicos, alumbramiento y equipamientos.

De este modo, el coste de puesta en marcha del proyecto supone un 0,11% del presupuesto municipal para todo el año, y tan solo un 2,49% de la partida destinada a pequeñas mejoras y equipamientos con lo que la puesta en marcha de la red WSN no debería suponer un problema económico para Molins de Rei, o cualquier municipio con recursos económicos parecidos.

7- Conclusiones.

Sin lugar a dudas, nos encontramos en la etapa post-revolución de Internet. Y ello significa, desde mi punto de vista, que una vez globalizado el planeta a través de los servicios que prestan diferentes redes telemáticas solo nos queda, y no es poco, imaginar, inventar y aplicar todo aquello que estas redes nos permitan.

Si bien es cierto que se continúa investigando en nuevas tecnologías que aporten fundamentalmente un mayor ancho de banda a un coste inferior, lo más difícil ya se ha conseguido. Donde siglos atrás se necesitaban costosas expediciones de exploradores y expertos navegantes para cruzar los océanos, hoy es suficiente con un barato GPS. Los correos ya no son asaltados por prestigiosos ladrones, o los cables del telégrafo ya no son cortados por indomables tribus de indios ya que las cartas han sido sustituidas por mensajes de correo electrónico instantáneos.

De este modo, uno de los diferentes retos que nos podemos encontrar en la actualidad es la Integración de diferentes Redes Telemáticas para ofrecer uno o varios servicios. Las necesidades de integración pueden ser diversas. Desde la puesta en marcha de nuevas redes de última generación que deben convivir con las ya existentes hasta la oportunidad de aprovechar lo mejor de diferentes tecnologías para obtener el mejor resultado.

Y es esta última causa, a modo de proyecto, la que se ha intentado plasmar, creo que con éxito, en esta memoria.

La red telemática propuesta, y que integra una red ZigBee con diferentes detectores (WSN) y otra Wifi, aporta una solución rápida, sencilla y económica a una necesidad creada súbitamente como es la del control medioambiental por la puesta en marcha en las proximidades de una población de un horno de incineración.

Hoy en día nos encontramos con multitud de ejemplos parecidos, sobre todo en el sector público y al abrigo de las administraciones locales, de proyectos y soluciones en el campo de las conocidas como Smart Cities que integran WSN con otras redes telemáticas para dar respuestas a problemas como pueden ser la eficiencia energética, la gestión de aparcamiento y tráfico urbano o la asistencia a personas con alguna discapacidad.

De este modo, es fácil deducir que en los próximos años nos encontraremos con multitud de cambios legislativos que fomenten estas nuevas soluciones en diferentes campos, apoyados por la inversión en el conocimiento de estas redes que se está realizando ya en ciudades como Barcelona o Santander, o en reconocidas compañías como Telefónica.

Por lo tanto, atendiendo a este contexto y a la experiencia del proyecto descrito podemos concluir:

- Las redes WSN ofrecen soluciones más económicas que las implementadas tradicionalmente.

- Las WSN permiten abordar problemas que hasta el momento tenían difícil solución.
- La ejecución o puesta en marcha de una red WSN es rápida gracias a su flexibilidad, robustez y escasez de requisitos para su funcionamiento.
- La integración con otras redes telemáticas, como por ejemplo Wifi, y gracias a la multitud de soluciones existentes en el mercado es sencilla.
- Existe una apuesta clara de diferentes entidades por el mercado y las soluciones basadas en WSN.

8 - Bibliografía.

- Gases procedentes de la quema de basuras:
<http://www.monografias.com/trabajos13/infinal/infinal.shtml#problem>
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4778/3/Anexo%20B.pdf>

- WSN:
<http://www.slideshare.net/franciscovalenzu/redes-de-sensores-inalmbricos-wsn>
<http://www.libelium.com/>

- Normativa Wifi:
- Requisitos técnicos legales para el despliegue eficiente de redes Wi-Fi.
José Miguel Ruiz Padilla. Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.

- Sobre ZigBee:
- <http://aexit.es/redes-zigbee/>
http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Especializaciones/Redes_y_Seguridad/Trabajos_Finales/Dignanni_Jorge_Pablo.pdf
- <http://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

- Especificaciones Chipset Wifi Atheros:
- <http://unex.com.tw/product/cm9-gp#Specifications>

- Baterías para paneles solares:
<http://www.battcompany.com/es/bateria-nautica/baterias-barcos/baterias-nauticas/tienda/category/24/bater%C3%ADas-12v-para-paneles-solares.html>

- Armarios eléctricos:
<http://www.superantena.es/184-armarios>

- Torres de telecomunicaciones:
http://www.invertaresa.com/made/espanol/descargas/catalogos/08_telecomunicaciones.pdf

- Radio Mobile (software):
<http://blog.e2h.net/2010/01/17/calculando-un-enlace-de-radio-punto-a-punto-con-radio-mobile/>
<http://www.slideshare.net/diego15289/tutorial-para-software-radio-mobile>

- Antena direccional (WRLANT523):

<http://www.demon-multimedia.com/productos/productos.asp?ids=68>

- Sobre la optimización de la capa MAC para enlaces de gran distancia en 802.11:

http://www.air-stream.org/ACK_Timeouts

- Estructura de xarxes de computadors. Contextos del nivell d'enllaç i la capa MAC.

© Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya

- Sistemas telemàtics. Comunicacions sense fils & Xarxes locals i metropolitanes sense fils. © FUOC, 2007

- Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales aisladas de países en desarrollo.

Francisco Javier Simó Reigadas. ETSIT UPM.

- Viabilidad económica:

- <http://www.viumolinsderei.com/2013/11/14/el-presupost-municipal-de-molins-de-rei-2014-augmenta-un-32-despres-de-cinc-anys/>