



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

*Despliegue de una red de sensores conectados
inalámbicamente en la ciudad de Alcoy*

MEMORIA PRESENTADA POR:

Javier Colomina Aracil

GRADO DE INGENIERIA ELÉCTRICA

Contenido

1.1	Contexto del proyecto	3
1.2	Necesidad	4
2.1	Soluciones existentes	4
2.2	Raspberry pi	5
2.3	Arduinos.....	6
2.4	Waspote.....	7
2.5	Casos de éxito	9
3.1	Comparativa y elección de solución	12
4.0	Proyecto a desplegar	14
4.1	Descripción.....	14
4.2	Montaje y programación de los equipos de registro.....	15
4.3	Diseño de la red de comunicaciones	16
3.4	Esquema de red punto a punto.....	19
4.5	Cobertura de red	20
4.6	Tipo de tecnología a emplear.....	23
4.7	Equipos emisores	23
4.8	Equipos receptores.....	26
4.9	Equipos troncales	27
4.10	Enlaces secundarios CPE o de cliente (enlace datos sensores).....	28
4.11	Montaje de nodo principal con funciones Cloud	33
4.12	Solución cloud futura.....	35
4.13	Muestreo.....	35
4.14	Cálculos justificativos.....	36
4.15	Recogida de datos	39
5.1	Presupuesto	46
6.1	Conclusiones	47
7.1	Bibliografía.....	48
8.0	Anexo.....	49
8.1	Documentación técnica Equipos Transmisión	49
8.2	Documentación técnica Equipos sensores	54
8.3	Programación de los equipos de red.....	56

1.1 Contexto del proyecto

Sin ser del todo conscientes se está produciendo una revolución digital que nos afecta en todos los sentidos, desde el punto de vista económico hasta en el comportamiento de las personas.

La característica más importante es que se está produciendo una revolución de los datos, es necesario medirlo todo, y en ese contexto afecta desde las industrias, pasando por las casas pero sobre todo en las ciudades, que está obligado a convertirse en el nuevo dinamizador de las sociedades modernas.

Las Smart Cities, o mal llamadas, ciudades inteligentes, se sustentan sobre varios ejes: cambios económicos, participación ciudadana, administración sin papeles, parámetros medioambientales, movilidad sostenible y sobre todo los la capacidad de generar datos, la llamada Internet de las cosas (IoT).

Las nuevas ciudades toman como centro de atención al ciudadano, a sus necesidades para vivir de una manera mejor. Hay que conseguir que el ciudadano se sienta a gusto en su entorno, facilitándole la movilidad, disminuyendo los elementos dañinos que le rodean y ampliando los elementos gratificantes que le motivan.

La tendencia de los datos se sustenta en dos parámetros (Open Data y Cloud Computing). Las administraciones deben ser capaces de medir todos los datos posibles, ofrecerlos a los ciudadanos para que éstos sean capaces de generar económica a partir de la información analizada.

Es importante poder diseñar una red de conectividad para poder adquirir esos datos necesarios para la toma de decisiones. Este diseño es muy importante y tiene muchos elementos críticos (privacidad de los espacios, frecuencia de las emisiones, elementos a medir, etc.)

Este proyecto nace dentro de este contexto, para poder medir, monitorizar y recabar datos dentro de la ciudad de Alcoy.

Alcoy es una ciudad de 60.000 habitantes, con una orografía compleja, rodeada de dos parques naturales, y con un contexto económico en plena transformación.

Hoy en día, la tecnología permite dicho objetivo y con este proyecto se va a intentar crear una estructura de información mediante la implantación de una red de datos que recoja información sobre sensores ubicados a lo largo de la ciudad para poder realizar la toma de decisiones basadas en parámetros medibles.

También se analizará como guardar dicha información en sistema de almacenamiento de datos basados en Cloud, para que sean exportables fácilmente para los ciudadanos y empresas.

En definitiva, se pretende conseguir los siguientes objetivos:

- Tener una ciudad que esté comprometida con nuestro entorno, donde se fomente un uso adecuado de las tecnologías de las que se dispone.
- Tener información de calidad y potenciarla sobre nuestro entorno

- Tener capacidad de anticipación a los cambios, pues las ciudades están en continuo avance.

1.2 Necesidad

El ayuntamiento de la ciudad de Alcoy ha firmado con nuestra Universidad un acuerdo de colaboración denominado Cátedra Smart City. Dentro de este contexto se han ofrecido trabajos finales de grado para diversas titulaciones, con elementos diferenciadores pero con un objetivo común que no es otro que conseguir transformar la ciudad en el elemento diferenciador del siglo XXI.

Este proyecto nace de la necesidad de crear una red de elementos para poder recolectar datos, diseñando una estructura de red para poder recabar información tan variada como:

- Niveles de contaminación sonora
- Temperatura, humedad y presión relativa
- Conteo de vehículos / personas
- Emisiones de gases nocivos para la salud como NO₂ provenientes de vehículos a motor.
- Cantidad de Óxido de Azufre (SO₂) que respiramos
- Niveles lumínicos
- Cantidad de Ozono (O₃) que emitimos a la atmósfera
- Niveles de consumo eléctricos
- Estado en tiempo real de depósitos de abastecimiento de aguas
- Estado en tiempo real de la red pluvial y / o EDAR's de la zona
- Y un sinfín de variables donde el fin lo pone donde llegue nuestra imaginación.

El recabar y tener acceso a todo este tipo de variables, va a desencadenar que podamos valorar y tomar decisiones, emprender acciones y conocer el estado de nuestro entorno

Al final el trabajo final de grado intentará crear ese diseño de la red para poder obtener información. El proyecto ha contemplado pequeñas informaciones (temperatura, medidores medioambientales, etc.) pero lo importante es que sienta la necesidad de esa conectividad y de la calidad del despliegue de la red de equipos para poder recoger la información, mandarla a la base de datos en sistema Cloud para su posterior análisis y tratamiento de la información.

2.1 Soluciones existentes

Actualmente y con la disponibilidad de tecnología que tenemos a nuestro alcance, hay una gran variedad de soluciones disponibles para el registro de variables de entorno y cualquier idea que se nos ocurra.

Nadie imaginaba hace años ordenadores del tamaño de tarjetas de crédito o del tamaño de un Pendrive y lo mejor de todo su bajo coste y alta capacidad y eficiencia para adaptarlos a nuestras soluciones

Pasamos a enumerar las que considero más importantes en función de la tarea a desempeñar así como de capacidad de futuro despliegue.

2.2 Raspberry pi

Este micro PC de reciente creación es la joya de la corona, del tamaño de una tarjeta de crédito más pequeño aun (la versión de escritorio), con una CPU de 4 núcleos, 1gb RAM, dispone de HDMI, 4 puertos USB, puerto Ethernet, módulos de expansión como puede ser para una cámara de 8 MP y modulo externo también para conexión de mini pantalla LCD. Por no hablar de conexiones wifi/bt integradas.

Y todo esto a un bajo coste, nos puede salir por 30 – 35 €

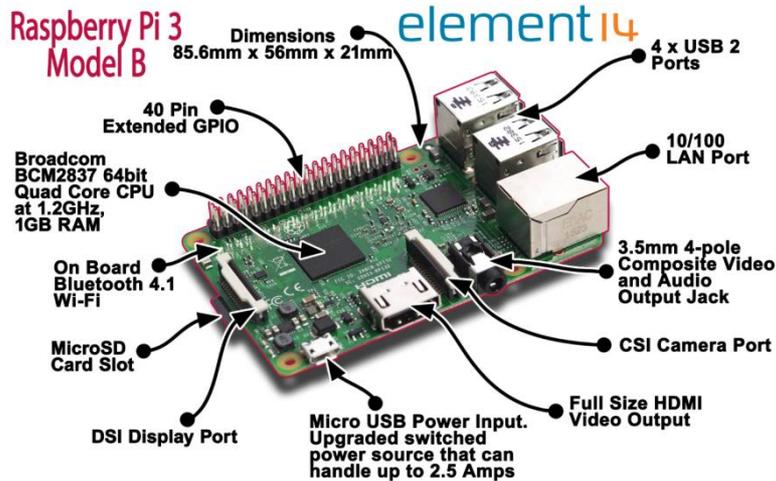


Figura 1 – fotografía del micro PC Raspberry-pi3 y diagrama de conexiones que dispone

Dispone además de puertos GPIO muy útiles a la hora de desarrollar soluciones.

Raspberry Pi 3 GPIO Header

Pin#	NAME		NAME	Pin#
01	3.3v DC Power	⬇️ ⬇️	DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I ² C)	⬇️ ⬇️	DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I ² C)	⬇️ ⬇️	Ground	06
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)	⬇️ ⬇️	(TXD0) GPIO14	08
09	Ground	⬇️ ⬇️	(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)	⬇️ ⬇️	(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)	⬇️ ⬇️	Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)	⬇️ ⬇️	(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power	⬇️ ⬇️	(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOSI)	⬇️ ⬇️	Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)	⬇️ ⬇️	(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)	⬇️ ⬇️	(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground	⬇️ ⬇️	(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I ² C ID EEPROM)	⬇️ ⬇️	(I ² C ID EEPROM) ID_SC	28
29	GPIO05	⬇️ ⬇️	Ground	30
31	GPIO06	⬇️ ⬇️	GPIO12	32
33	GPIO13	⬇️ ⬇️	Ground	34
35	GPIO19	⬇️ ⬇️	GPIO16	36
37	GPIO26	⬇️ ⬇️	GPIO20	38
39	Ground	⬇️ ⬇️	GPIO21	40

Figura 1.1 - pines de propósito general de la Raspberry pi 3

Como podemos ver tenemos disponibles en estos pines soluciones bastante “industriales” en cuanto a conectividad con sensores como pueden ser buses I2C o SPI , muy importantes ya que la mayoría de sensores digitales de los que disponemos o existen en el mercado funcionan a través de este tipo de buses.

Pasamos ahora a enumerar algunas características técnicas y su evolución en sus diferentes modelos según fecha de aparición.

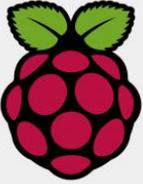
	Raspberry Pi 3 Model B	Raspberry Pi Zero	Raspberry Pi 2 Model B	Raspberry Pi Model B+
				
Introduction Date	2/29/2016	11/25/2015	2/2/2015	7/14/2014
SoC	BCM2837	BCM2835	BCM2836	BCM2835
CPU	Quad Cortex A53 @ 1.2GHz	ARM11 @ 1GHz	Quad Cortex A7 @ 900MHz	ARM11 @ 700MHz
Instruction set	ARMv8-A	ARMv6	ARMv7-A	ARMv6
GPU	400MHz VideoCore IV	250MHz VideoCore IV	250MHz VideoCore IV	250MHz VideoCore IV
RAM	1GB SDRAM	512 MB SDRAM	1GB SDRAM	512MB SDRAM
Storage	micro-SD	micro-SD	micro-SD	micro-SD
Ethernet	10/100	none	10/100	10/100
Wireless	802.11n / Bluetooth 4.0	none	none	none
Video Output	HDMI / Composite	HDMI / Composite	HDMI / Composite	HDMI / Composite
Audio Output	HDMI / Headphone	HDMI	HDMI / Headphone	HDMI / Headphone
GPIO	40	40	40	40
Price	\$35	\$5	\$35	\$35

Figura 2 - descripción de características técnicas según modelo de Raspberry pi

2.3 Arduinos

De pequeño tamaño, fácil programación (lenguaje C) y bajo coste tenemos a la plataforma Arduino y su gran variedad de shields que podemos incorporar a nuestros proyectos de forma escalable / modular.

Arduino-UNO

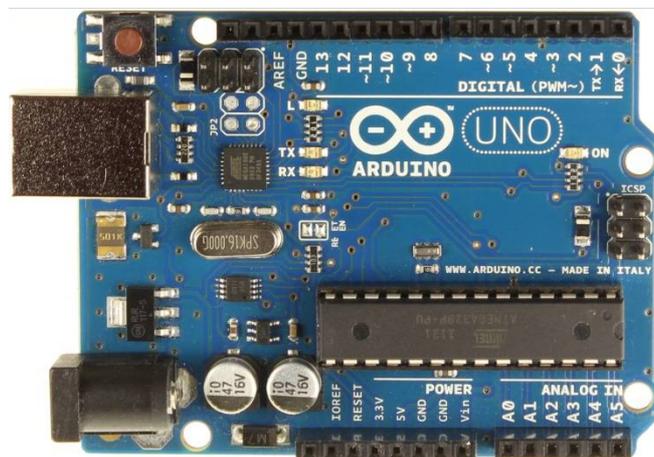


Figura 3 - placa del micro controlador Arduino-UNO

Shield de conectividad Ethernet y capacidad de almacenar datos localmente o gestionarlos remotamente gracias a la ranura SD de la que dispone. Tiene servidor web integrado que lo podemos programar como deseemos, además de disponer de una gran facilidad de acceso a los datos y a los pines GPIO que dispone. Pudiendo configurar sus entradas / salidas según lo necesitemos, cosa la cual nos aporta gran versatilidad a la hora de desarrollar algún proyecto.



Figura 4 - add-on auxiliar para proveer a la placa Arduino de conectividad Ethernet

2.4 Waspote



Figura 5 – logotipo del producto estrella de libelium

De mano de la empresa española libelium con sede en Zaragoza, nace Waspote plug& sense, se trata de unas placas para desplegar redes de sensores de forma rápida y efectiva.

Además de usar el mismo compilador y librerías que la plataforma Arduino ya mencionada anteriormente.

Algunas de sus características más interesantes son:

- El ultra bajo consumo que necesita para funcionar 0.7 uA
- 12 series de modelos diferentes (caja de entorno a medir)
- diferentes alternativas de comunicación, empezando desde comunicaciones gsm 3g / gprs, bluetooth de baja energía, módulos zigbee, protocolo 802.15.4, RF 868MHz, RF 900MHz, WiFi y por ultimo protocolos LoRa / LoRaWAN.
- Programación OTA (over the air)
- librerías de encriptación
- línea de producto encapsulada
- soporte de protocolos de bus industriales más utilizados.



- Figura 5.1 – cajas de entorno de recogida de datos disponibles

Especificaciones físicas de las que dispone

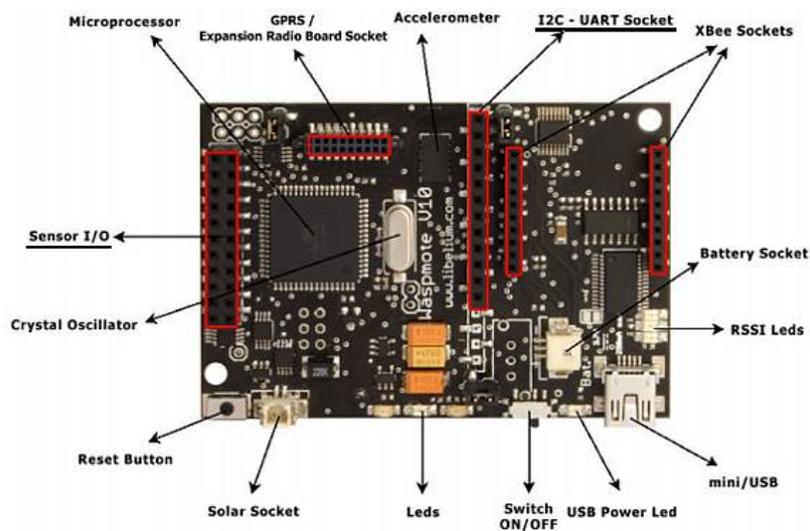


Figura 6 - descripción de todos los elementos que contiene una placa Wasp mote

Presentación física en entorno urbano



Figura 7 - presentación de la placa Wasp mote en un entorno real urbano

2.5 Casos de éxito

2.5.1 Ciudad de Castellón de la plana

En Castellón , se ha implantado en una zona residencial (220.000 m²) donde viven 8000 vecinos como proyecto pionero , el despliegue de una red de hasta 25 tipos de diferentes sensores , de forma que tomando datos obtienen una perspectiva global del entorno de su ciudad.

Se han instalado sensores muy interesantes como son

- de llenado de contenedores con ultrasonidos (
- estaciones meteorológicas (temperatura , humedad , presión atmosférica)
- sensores de gases NO₂, CO, Co₂ etc....
- de medición de aguas

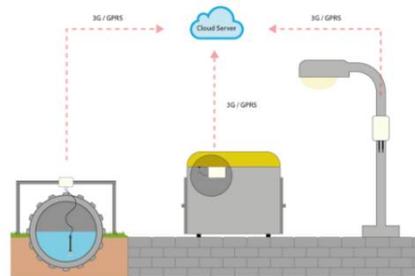


Figura 8 – esquema conceptual de ubicación de sensores y direccionamiento cloud

Obteniendo datos por ejemplo muy útiles, como son los que proporciona el sensor instalado en los contenedores, este sensor de ultrasonidos nos va a indicar el estado de llenado en tiempo real, de forma que optimiza la ruta del camión de la basura, evitando ir a por contenedores que por ejemplo estén al 25 % 50%.... ahorrando de esta forma en tiempo y dinero, pudiendo reinvertir recursos en otros en otras tareas.



Figura - 9 detalle del interior de un contenedor con el sensor de ultrasonidos

También se han instalado unos sensores en las canalizaciones principales de agua y en las canalizaciones de vecinos. Pudiendo por ejemplo obtener patrones de consumo de agua, conocer el estado de la red de agua potable en tiempo real, pudiendo prevenir inundaciones y conociendo en todo momento su estado, ya que además se registran presión y temperatura del agua, caudal y altura de agua.



Figura 10 - sensores utilizados en la red de distribución y en punto distribución de usuario

2.5.2 Ciudad de Málaga

La ciudad de Málaga es otro ejemplo muy interesante, puesto que sabemos que el tráfico urbano es uno de los principales problemas que afecta directamente a la calidad de vida de las personas en las ciudades de tamaño medio-grande.

En las ciudades tenemos la característica de estar en constante crecimiento, la cual contribuye a gran cantidad de viajes dentro y hacia afuera de la ciudad. Así como al incremento de la contaminación y consumo de energía, de forma que ahora para llegar a nuestros destinos, requerimos de nuevas formas de administrar el tráfico urbano.

Por lo tanto uno de los principales requisitos para alcanzar la sostenibilidad de movilidad es tener información precisa.

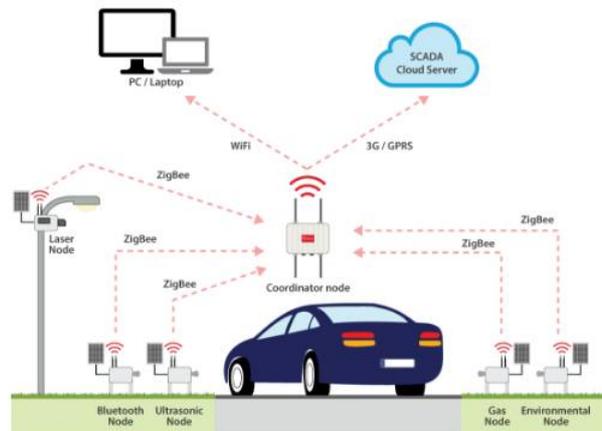


Figura 11 – esquema conceptual de la red desplegada en Málaga

En Málaga han realizado un despliegue de sensores de diferentes tipos, entre ellos han desplegado en una rotonda de alto nivel de concurrencia de vehículos, y además con diferentes carriles de entradas y salidas, los siguientes sensores:

- de conteo de vehículos e identificación
- niveles de ruido
- de gases contaminantes y concentración de partículas
- temperatura / humedad
- Bluetooth

Lo que están recabando con la información de los vehículos, son tendencias y parámetros, por ejemplo cuanta gente de la ciudad va a trabajar fuera y vuelve.... Obteniendo así patrones de movimiento de vehículos, cantidad de vehículos que entran etc.

Además , el sistema cuenta con la lectura de dispositivos Bluetooth a bordo del vehículo, como pueden ser manos libres teléfonos etc. , el sistema cuenta con discriminación de dispositivos , por lo tanto puede identificar un manos libres de un vehículo, como este tiene una dirección física única (dirección MAC) , podemos identificar un vehículo .

Por lo tanto si la dirección física del Bluetooth del manos libres del coche, es leída en distintos nodos y en diferentes intervalos horarios, podemos establecer un trazado del vehículo.

En este caso lo utilizan para calcular la matriz de origen-destino (Matriz O-D), la cual es una poderosa herramienta para administrar el tráfico de vehículos, obteniendo así la forma en la que se mueven los vehículos entre diferentes puntos de interés.

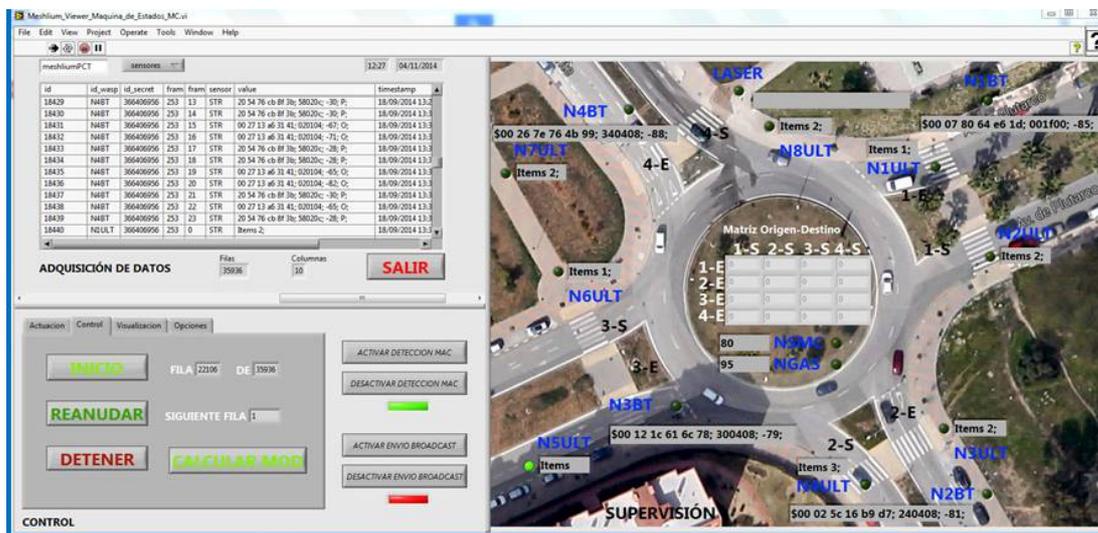


Figura 12 – SCADA de la Smart City de Málaga donde podemos observar la matriz O-D así como la entrada de datos en tiempo real del sistema

Como vemos la privacidad aquí esta preservada, no se leen matriculas solo direcciones físicas de dispositivos Bluetooth, las cuales no están conectadas a ninguna persona física.

De todas formas además de la identificación por Bluetooth, para calcular la matriz O-D son necesarios sistemas para conteo de vehículos, en este caso hay instalados sensores de ultra sonidos y sensores laser, asegurándonos que estamos contando un vehículo y el carril de la rotonda que está usando

Todo este sistema es mostrado en un sistema SCADA en tiempo real.

En definitiva este sistema nos proporciona una herramienta que es capaz de identificar parámetros de tráfico urbano, conteo e identificación, parámetros clave para obtener patrones de origen y destino de viajes en el área de estudio, así como el cálculo de la matriz O-D en tiempo real permite adaptar los planes de trafico a la demanda de trafico real del momento.

3.1 Comparativa y elección de solución

Llegados a este punto, y teniendo en cuenta el entorno donde vamos a desplegar la red de sensores hay que tener en cuenta ciertos aspectos como

- ✓ Entorno donde lo vamos a desplegar
 - ➔ puede ser entorno urbano o aislado
- ✓ Disponibilidad de fuente de alimentación del dispositivo
 - ➔ no siempre vamos a tener suministro eléctrico donde queramos, esto nos va a crear dependencia de la red, por lo tanto necesitamos una alternativa en cuanto alimentación se refiere pudiendo alimentarlo con renovables.
- ✓ Capacidad de adaptación a nuevas variables a medir
 - ➔ el hecho de que no nos suponga coste/ impedimento o cambio de equipo el cambiar de variable a medir según se requiera.
- ✓ Sistema de comunicaciones
 - ➔ no siempre tenemos comunicaciones allá donde vamos a medir variables , por lo tanto es importante tener buen repertorio de alternativas de red
 - ➔ posibilidad de poder crear una red mallada fácil y rápida entre dispositivos de recogida de datos, de forma que no es necesario línea visual entre los equipos.

La solución de utilizar raspberry tiene las siguientes ventajas e inconvenientes

Ventajas

- ✓ Gran rendimiento , potencia y recursos de los que dispone
- ✓ Posibilidad de añadir elementos auxiliar de alto valor como camara / pantalla
- ✓ Dispone de pines GPIO que son muy utiles a la hora de desempeñar funciones de leer sensores o de buses industriales o como simples entradas / salidas de un automata
- ✓ Conectividad integrada wifi / BT /ethernet
- ✓ Mucho soporte en la red

Inconvenientes

- ✓ Elevado consumo de corriente de alimentacion , se requiere alimentadores de 2 A para que funcione.
- ✓ Necesidad de apatacion de los pines a los parametros con los que vayamos a trabajar
- ✓ Necesidad de adaptacion de envolvente para el entorno donde vaya a desplegarse
- ✓ Necesidad de buscar un entorno IDE para empezar a desarrollar

La solución de utilizar Arduino tiene las siguientes ventajas e inconvenientes

Ventajas

- ✓ Fácil y rápida programación
- ✓ Pines de trabajo multipropósito según la necesidad que tengamos
- ✓ Mucho soporte open source y apoyo en la red
- ✓ Librerías gratuitas y accesibles para gran variedad de entornos / situaciones / shields.
- ✓ Ideal para hacer prototipos y aprender

Inconvenientes

- ✓ Elevado consumo en reposo 46 mA, y cuando más lo hagamos trabajar más consumirá.
- ✓ Necesidad de adaptación de los pines a los parámetros con los que vayamos a trabajar
- ✓ Necesidad de adaptación de envoltorio para el entorno donde vaya a desplegarse

La solución Waspote tiene las siguientes ventajas e inconvenientes

Ventajas

- ✓ Ultra bajo consumo de funcionamiento, lo cual nos va a permitir una gran autonomía
- ✓ Nos proporciona un envoltorio adaptado a nuestras necesidades IP65 así como independiente de cualquier fuente de luz convencional pudiendo funcionar con renovables pues dispone de socket para ello, aunque también puede trabajar a red convencional.
- ✓ Gran surtido de sensores y sets de entorno que nos proporciona el fabricante, así como gran rapidez para cambiar entre sensores
- ✓ Fácil programación gracias al IDE que proporciona el fabricante
- ✓ Capacidad de desplegar redes malladas entre sensores de forma fácil y rápida
- ✓ Gran surtido de sistemas de telecomunicación disponibles
- ✓ Capacidad de envío de datos directamente a la nube / base datos.

Inconvenientes

- ✓ solución algo más cara que las anteriores
- ✓ no existe placa multipropósito aunque habría que adaptarla
- ✓ necesidad de tener un nodo receptor

➤ Elección

La solución que se ha decidido adoptar debe reunir unos requisitos muy importantes estos son:

- Debe de ser una solución que se adapte a nuestras necesidades
- Debe de ser una solución escalable y potente que nos permita adaptarnos a un entorno o demanda cambiante
- Debe de ser una solución fácil de implementar, desplegar, controlar y mantener

Por lo tanto la elección de la solución es la que nos proporciona la empresa libelium junto con sus equipos Waspote plug&sense y su nodo meshlium.



Figura 13 - logotipo-marca de la solución adoptada

Este proyecto podemos dividirlo en diferentes apartados que lo integran como pueden ser:

- red troncal y elementos de transmisión
- sistema de recolección de datos : conformado por los equipos sensores
- base de datos y/o cloud : donde se van a almacenar y visualizar las variables

4.0 Proyecto a desplegar

4.1 Descripción

El proyecto a desplegar consistirá en la colocación y despliegue una red de datos y de sensores para cubrir la ciudad de Alcoy y alrededores con la finalidad de recabar datos y enviarlos la nube / base de datos para su posterior explotación y uso por las autoridades competentes.

Los datos a recabar serán de diferente naturaleza, como son:

- temperatura
- niveles de voltaje
- niveles de consumo eléctrico de la ciudad
- gases contaminantes

Todas estas variables van a registrarse de forma regular y van a ser enviadas a una nube o alguna base de datos.

Según la decisión tomada vamos a utilizar para ello el box de recogida de datos de libelium plug & sense.



Figura 14 – box de recogida de datos Waspnode con placa fotovoltaica

Este puede ser alimentado a través del conector USB o con energías renovables.

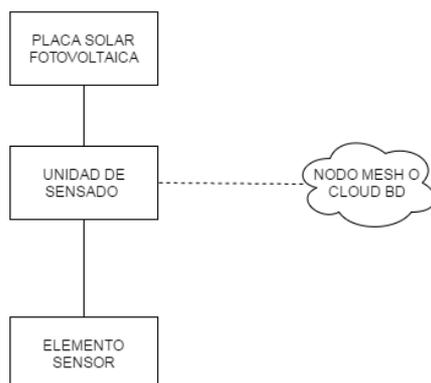


Figura 15 - Diagrama conceptual de la Waspnode que vamos a utilizar

4.2 Montaje y programación de los equipos de registro

La programación de los equipos plug&sense es relativamente fácil, además libelium nos pone a la mano una herramienta muy útil y muy intuitiva, se trata de un generador de código que está ubicado en su página.

Esta herramienta nos permitiría seleccionar el modelo de placa de entorno, ajustar el tiempo en el que la placa estará dormida, además nos indicara en que socket de los 6 que hay disponibles debemos pinchar nuestro sensor, pues no todas las bocas son iguales, ya que hay algunas que por su naturaleza son para entrada de señales analógica, otra señales digitales, otras son señales de bus, por lo tanto esta herramienta nos facilita mucho las cosas.

The screenshot shows the 'Wasmote - Plug & Sense! - Code Generator - v02' web interface. It includes the Libelium logo and a grid of sensor socket options (A-F). The configuration fields are as follows:

Section	Field	Value
* Select Model	Board model:	Smart Cities
	Board model:	Smart Cities
* Sleeping Time	Time (seconds):	59
	Time (seconds):	59 (Max 2,628,000 sec - 1 Month)
* Select sensor by socket	A:	Select
	B:	Select
	C:	Select
	D:	Noise sensor
	E:	Select
	F:	Select
Additional information	Add Accelerometer 3 Axis data:	<input type="checkbox"/>
	Add GPS coordinates:	<input type="checkbox"/>
Additional information	Add Battery Level:	<input checked="" type="checkbox"/>
	Add Time Stamp (RTC):	<input checked="" type="checkbox"/>
Additional information	Wasmote identifier (nodeID):	RUIDO (Max 10 characters)
Select Communication Module	Communication Module:	WIFI
	Communication Module:	WIFI
Communication Parameters	AP Name:	NETLLAR CASA
	Password:	6565465646
	Encryption:	WPA2
	Protocol:	TCP
Communication Parameters	IP Address:	192.168.0.56
	Port:	80
* Mandatory fields		
Generate Code		

Figura 16 - pantallazo de configuración de nuestra Wasmote lista para la generación de código.

Aquí también nos permite decidir qué información auxiliar es de nuestro interés como puede ser la hora del reloj interno de tiempo real, nivel de batería, etc....

También desde aquí nos permitirá introducir los parámetros de configuración del sistema de telecomunicaciones que vayamos a gastar, cuando tengamos todas las opciones marcadas solo tendremos que dar clic al botón de generar código

4.3 Diseño de la red de comunicaciones

La red que vamos a diseñar para que los equipos operen de la mejor forma posible va a tener una topología de red en forma de estrella, donde un único nodo va a ser el punto de emisión principal y desde donde van a salir los datos para su almacenaje. Existen mejores sistemas para una red, como pueden ser redes malladas o mesh o en anillo, de forma que estos sistemas son más redundantes en caso de fallos y serian mejores para un despliegue en un entorno real donde un fallo no lo podemos tolerar, como son las redes de distribución eléctrica, estas si están redundadas.

No obstante para el caso que abarca el proyecto así como sus fines se opta por la simplicidad y facilidad a la hora de desplegar, una red en topología de estrella

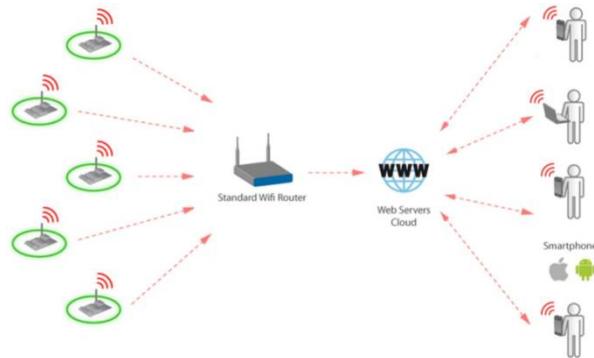


Figura 17 - representación de topología en estrella del despliegue

Se va a diseñar una red con perspectivas de futuro, es decir no solo se contemplara para leer unos sensores inicialmente y en fase de pruebas, sino que se pretende dar cobertura a toda la ciudad con el fin de proporcionar señal de datos cualquier sensor que deseemos instalar. Ya sea tanto dentro del casco urbano, como polígonos o incluso se va a dar cobertura a todo el parque natural de la Font Roja y cualquier entorno de ámbito rural fuera de casco urbano, como pueden ser toda la zona de urbanizaciones como

- urbanización Montesol
- urbanización El Sargento
- urbanización Baradello Gelat
- urbanización El Estepar
- sector de Barchell

Para ello según estudios que se han realizado sobre el terreno y teniendo en cuenta perfiles de altimétricos obtenidos, se tendrán que ubicar los puntos repetidores en ubicaciones elevadas, y despejadas de obstáculos en las direcciones de interés.

Se calcula que un 95% de la población va a quedar en zona de cobertura, el 5% restante va a poder dársele señal de forma indirecta mediante rebotes o a través de otros métodos de comunicación.

Las ubicaciones elegidas son las siguientes

- cumbre del Menejador (1356 m.s.n.m)

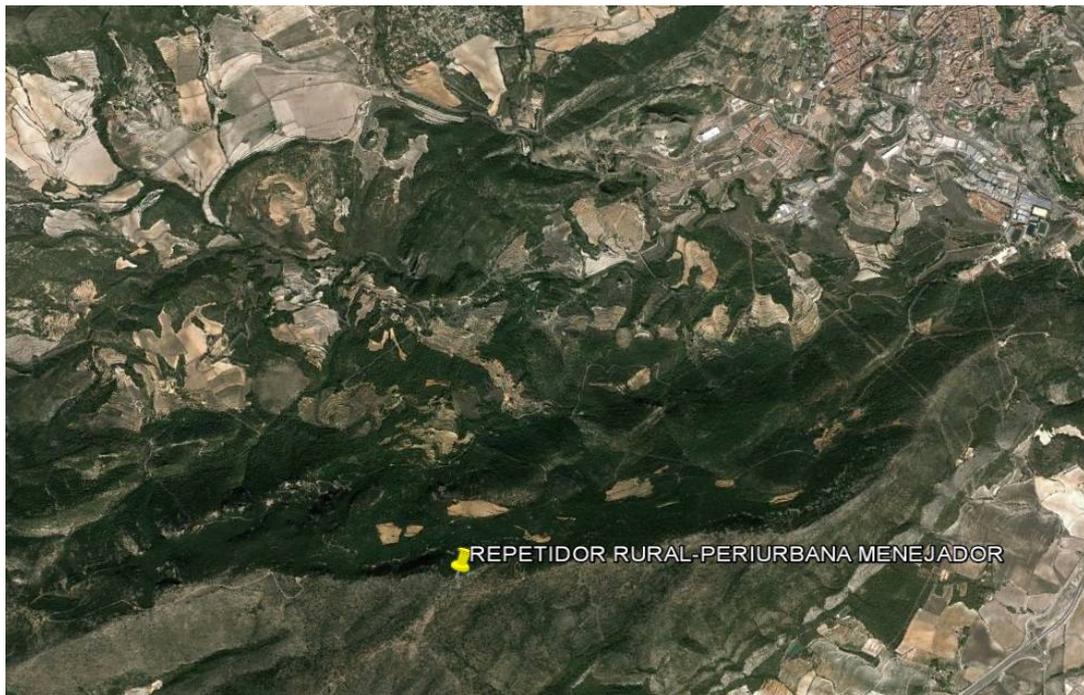


Figura 18 – ubicación del punto repetidor en la cumbre del menejador.

- Antena repetidora de radio Alcoy (653 m.s.n.m)

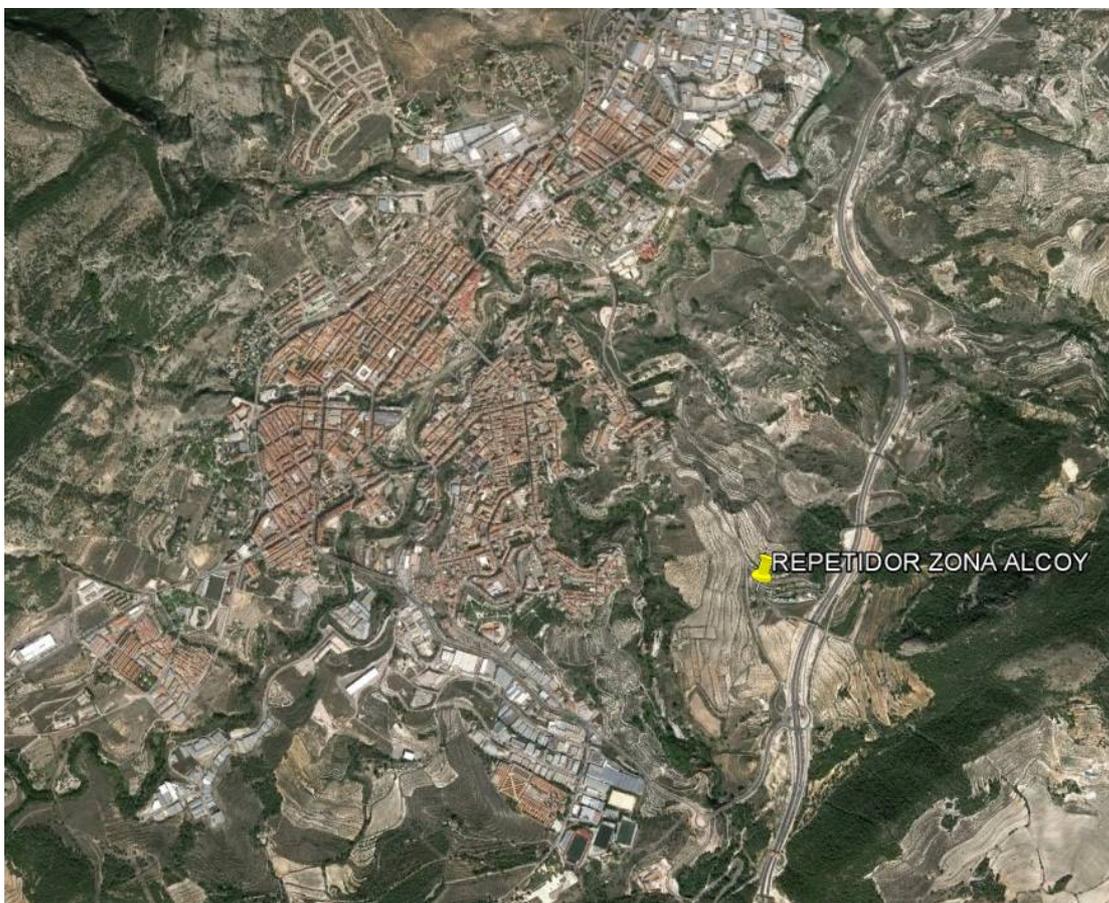


Figura 19 - ubicación del punto repetidor en las antenas de Radioalcoy.

- Edificio del hospital del preventorio (743 m.s.n.m)

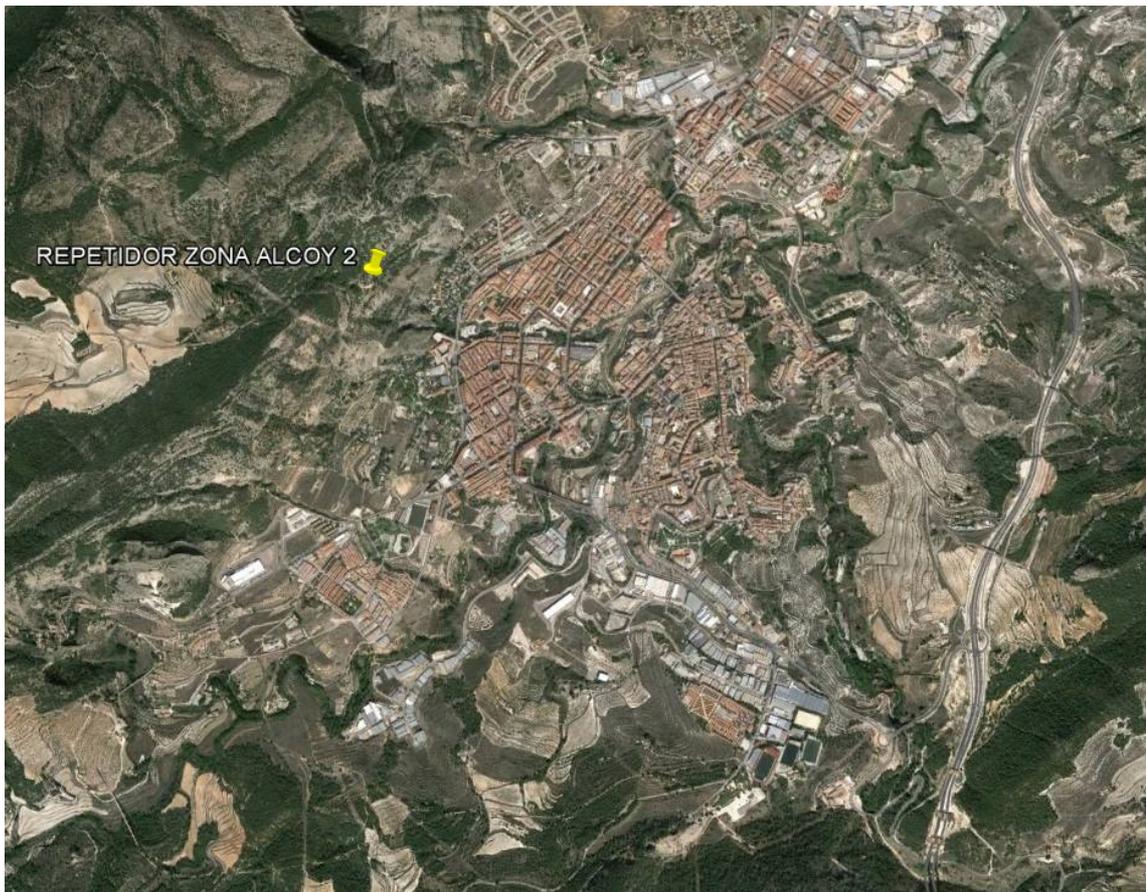


Figura 20 – ubicación del punto repetidor y nodo central en edificio preventorio.

- Alto de San Antonio (912 m.s.n.m)

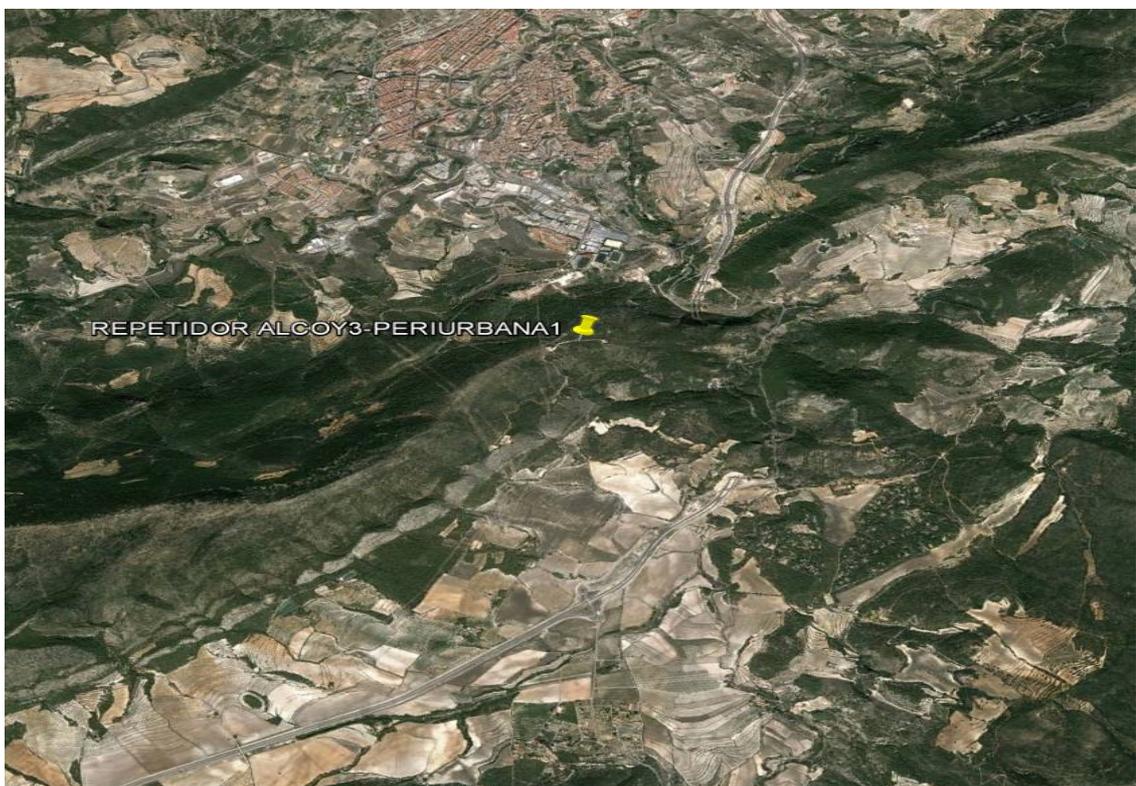


Figura 21 - ubicación del punto repetidor en el alto de san Antonio.

3.4 Esquema de red punto a punto

Veamos cómo queda el entramado de la red troncal, como vemos el punto central está ubicado en el edificio del hospital del preventorio, de aquí parten las diferentes ramificaciones de toda la red.

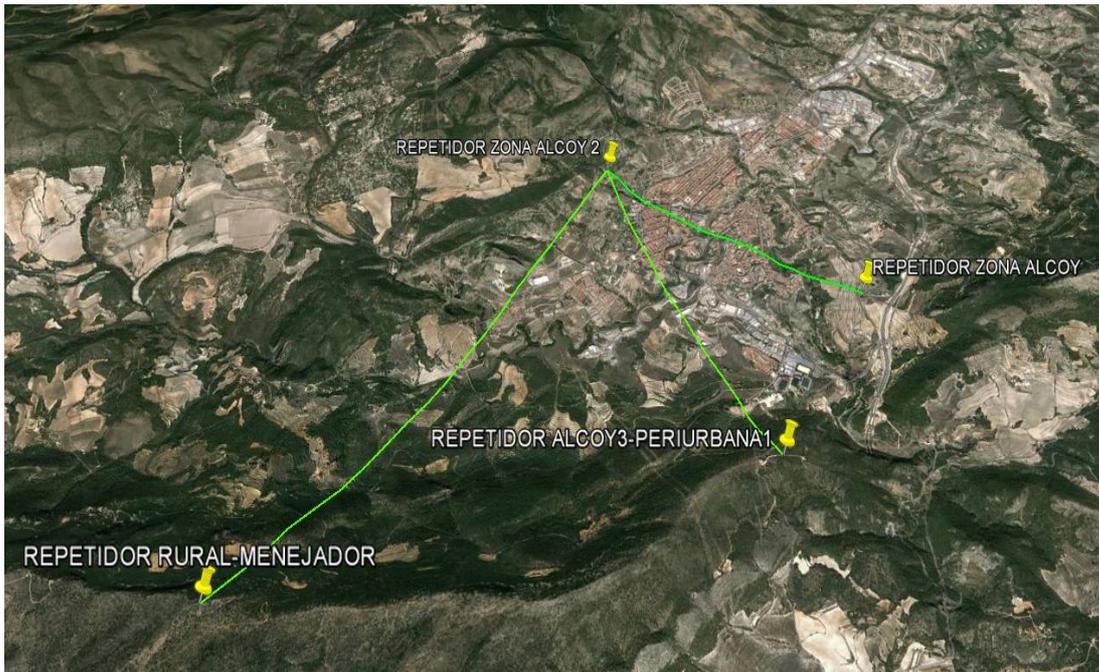


Figura 22 – mapa del despliegue de la red troncal

Los distintos perfiles de elevación nos confirman la viabilidad de dichos enlaces:

Enlace preventorio-fuente roja



Figura 23 – perfil elevación primer enlace

Enlace preventorio – san Antonio



Figura 24 – perfil elevación segundo enlace

Enlace preventivo – antenas radio Alcoy

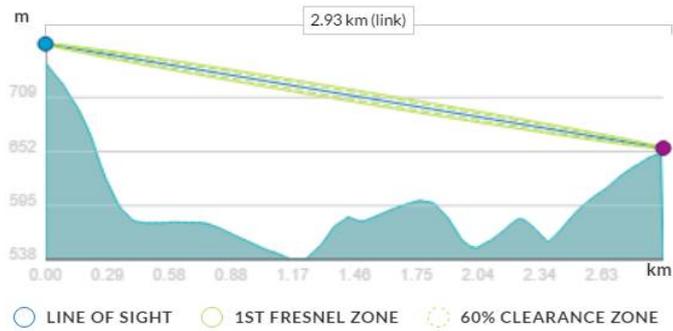


Figura 25 – perfil de elevación del tercer enlace

Como podemos observar en los perfiles de elevación de los distintos puntos, observamos que ningún enlace tiene la línea visual obstaculizada ni tampoco la zona Fresnel, por lo tanto vamos a garantizar el buen funcionamiento de los enlaces teóricamente.

4.5 Cobertura de red

La red se ha diseñado de forma que abarca una amplia zona de cobertura del término municipal de Alcoy, incluyendo zonas urbanas, periurbanas y zonas rurales así como distintas urbanizaciones que están dentro del término municipal de Alcoy.

Vamos a revisar por zonas las áreas que se cubren y después veremos una vista global de la cobertura:

- Repetidor y nodo principal edificio hospital preventivo (REPETIDOR ZONA 2 ALCOY)

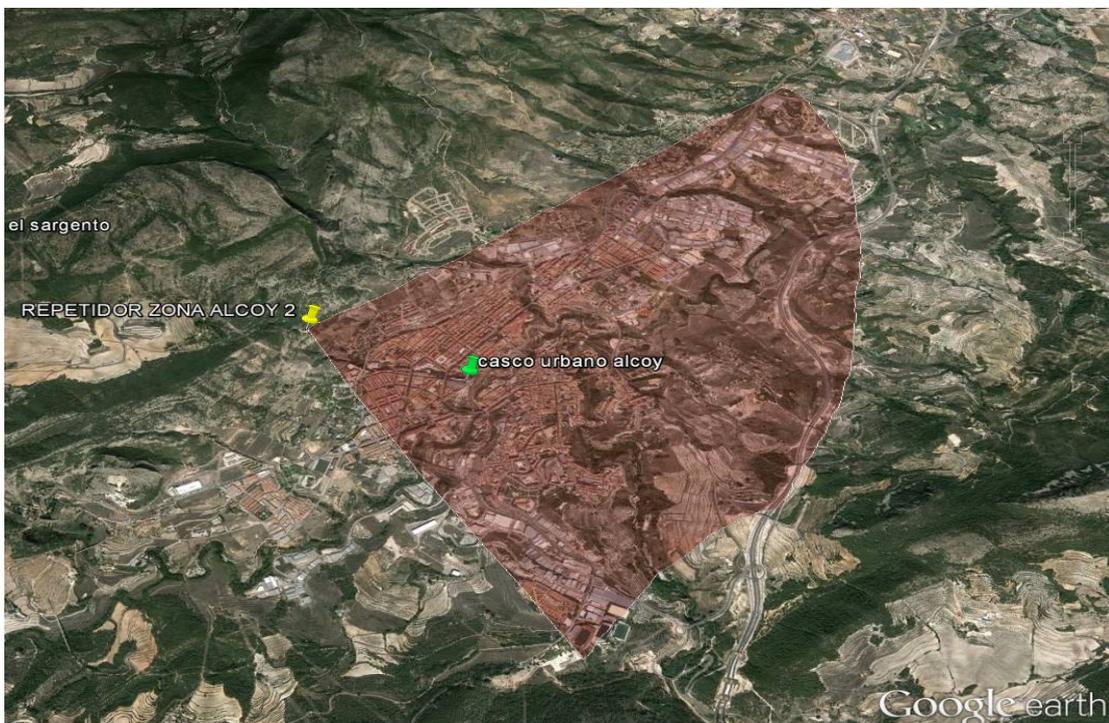


Figura 26 – imagen satélite del área de cobertura del repetidor indicado

- Quedando cubierta un área aproximada de 1109.769 Ha

➤ Repetidor cumbre Menejador (REPETIDOR RURAL – MENEJADOR)



Figura 27 – imagen satélite del área de cobertura del repetidor indicado

- Quedando cubierta un área aproximada de 3776.432 Ha

➤ Repetidor antenas radio Alcoy (REPETIDOR ZONA ALCOY)

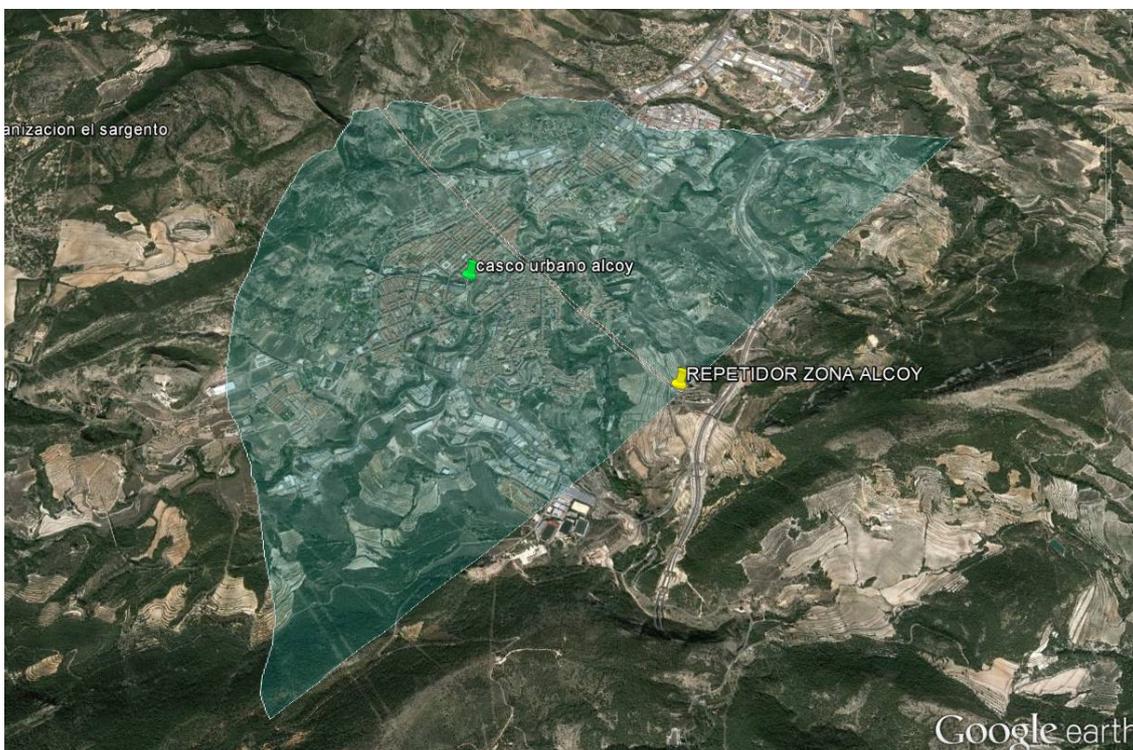


Figura 28 – imagen satélite del área de cobertura del repetidor indicado

- Quedando cubierta un área aproximada de 1520 Ha

➤ Repetidor alto de san Antonio (REPETIDOR ALCOY 3 – PERIURBANA1)

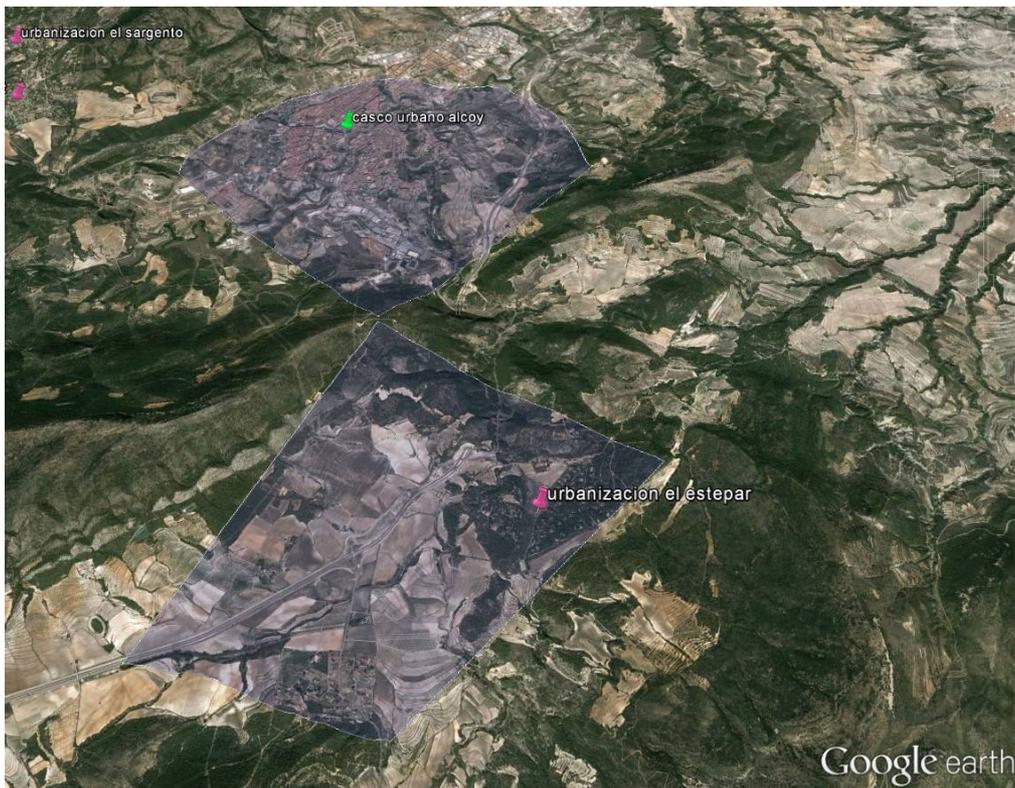


Figura 29 – imagen satélite del área de cobertura del repetidor indicado

- Quedando cubierta un área aproximada de 2066,2 Ha

Vista global de cobertura en la zona

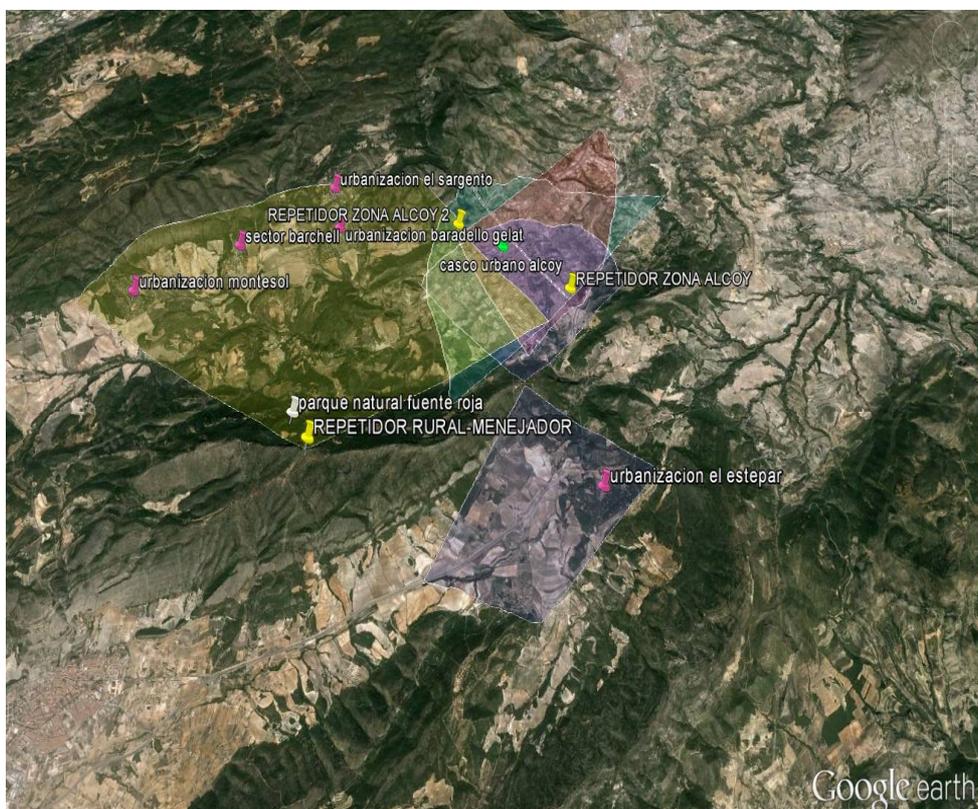


Figura 30 – imagen satélite de la suma de todas las áreas de cobertura

4.6 Tipo de tecnología a emplear

La tecnología a emplear en el diseño puede ser de diferente índole, no obstante se decide optar por la tecnología de 5 GHz para todo el entramado de red, entre los diferentes motivos que tenemos son:

- Los grandes vanos a salvar , los 5 GHz se propagan muy bien en el vacío
- No requiere licencias especiales para operar
- Coste razonable de los equipos
- Bajo caudal de datos requerido
- Red multipropósito, una vez desplegada no solo sirve para sensores, podemos llevar internet allá donde se despliegue, así como utilizarla para los fines que se deseen.

Por lo contrario si utilizamos tecnologías diferentes para la interconexión de los nodos, no nos va a permitir tanta versatilidad, pues vienen a ser casi tecnologías con un ancho canal muy reducido (GSM, GPRS, LoRa, ZigBee etc...) casi con una dedicación exclusiva al entramado de sensores, no permitiéndonos poder expandirse y sin conectividad Ipv4.

4.7 Equipos emisores

Los equipos emisores que se van a poner van a ser de diferente índole, según la ubicación y orografía del terreno donde se pretenda cubrir. Para entornos a cubrir con línea visual se van a utilizar antenas sectoriales de diferente apertura como son de 90° o 120°.

En este caso el equipo transceptor (basebox 5) se adquiere a parte del equipo radiante (sectorial marca ubiquiti)

Vamos a presentar los diferentes equipos emisores /radiantes que se podrán utilizar en el despliegue en función de su ganancia y apertura



Figura 31 – fotografía de los paneles ubiquiti en diferente formato, apertura y ganancia

Veamos ahora diferentes parámetros y diagramas de radiación que presentan

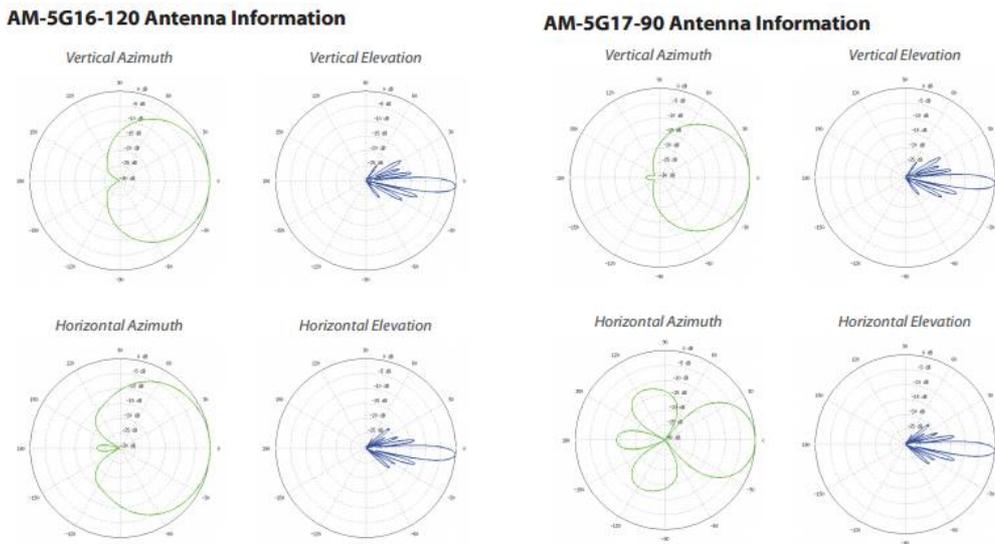


Figura 32 – diagramas de radiación para paneles de 90° y 120° de apertura

A los paneles hay que acoplarles el siguiente equipo , transceptor basebox 5 hasta 1w de potencia , licencia nivel 4, elevada potencia CPU y RAM , ideales para el trabajo que va a desempeñar como transceptor multipunto.



Figura 33 – equipo transceptor basebox 5 y como quedaría montado en antena sectorial

Equipo omnidireccional omnitik 5, equipo con capacidad para emitir en todas direcciones, dispone de una potencia algo menor que los equipos con basebox 5 (400mW), no obstante con el podemos realizar conexiones sin tener línea visual con el punto que queremos conectar



Figura 34 – fotografía de la antena omnidireccional

Veamos alguna de sus características en respuesta de señal y diagramas de radiación

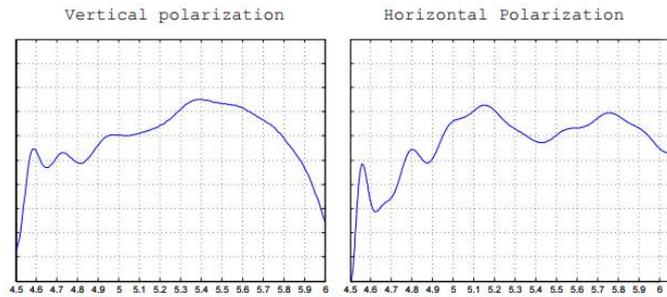


Figura 35 – respuesta de la antena en ganancia / frecuencia

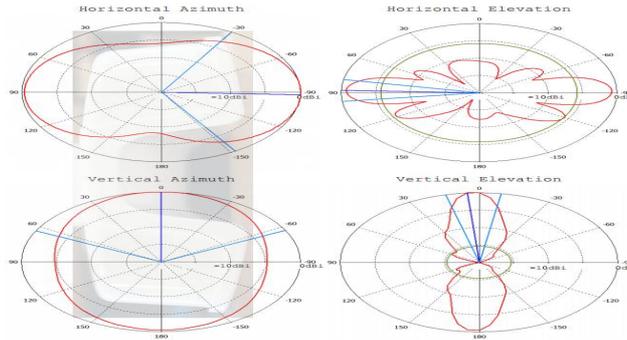


Figura 36 – diagramas de radiación de la antena

Por lo tanto, en función del área a cubrir, número de conexiones y según los mapas de cobertura realizados más arriba, vamos a emplear los siguientes equipos por repetidor

Equipos	C.Menejador	San Antonio	Preventorio	Antenas R.alcoy
Sectorial 120	1			
Sectorial 90		2	1	2
Omnidireccional	1			

En cuanto a la colocación de solo 1 equipo de 120° en un sector con más vano como es el ubicado en la cumbre del Menejador y aunque teniendo algo menos ganancia se decide utilizar este equipo debido al menor número de conexiones al panel que va a tener. No obstante se coloca un equipo omnidireccional para cubrir el parque natural debido a su orografía.

En cuanto a los equipos de 90° nos dan más ganancia que los de 120° y se decide su utilización debido a que van a estar más cercanos a los equipos sensores y van a soportar más conexiones concurrentes.

4.8 Equipos receptores

Dichos equipos son los encargados de conectar con las antenas sectoriales u omnidireccionales. Son el punto final de la red, allá donde queramos desplegar un punto de medición deberemos de poner equipos receptores.

Uno de los equipos que se va a emplear es el siguiente la LHG5 de 24 dB con un ancho de apertura de 7 grados, con capacidad para realizar enlaces hasta 12 km. soporta alimentación mediante Poe (alimentación a través de cable Ethernet).



Figura 37 – fotografía de la antena LHG5 de la marca Mirkrotik

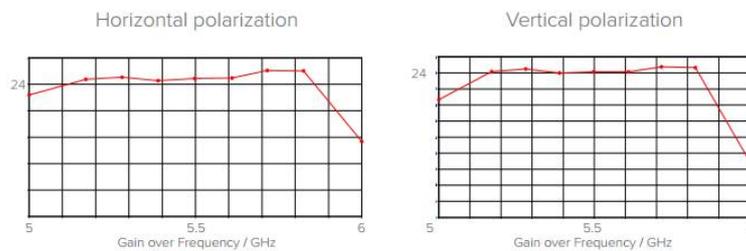


Figura 38 – diagramas ganancia / frecuencia que presenta la antena

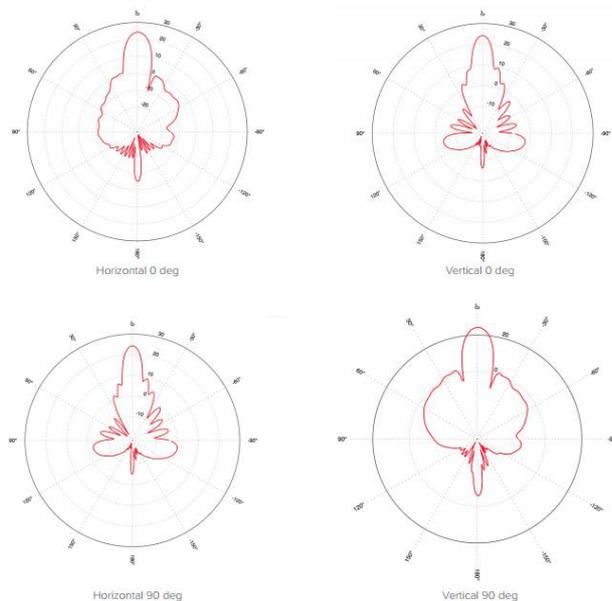


Figura 39 – diagramas de radiación que presenta la antena

4.9 Equipos troncales

Los equipos troncales son los que van a interconectar los diferentes nodos entre sí , y por lo tanto son el alma de la red , deben por lo tanto de garantizar una adecuada estabilidad.

En función del vano a salvar utilizaremos antenas de diferente ganancia ,

Antena dynadish 5 de la marca mikrotik de media ganancia 25 dB , con casi la misma ganancia que un equipo receptor , esta antena se diferencia por la licencia que tiene de nivel 4 (permite mas operaciones y modos de trabajo que la de equipo receptor que es de nivel 3) tiene mucho mejor rendimiento , mas memoria RAM así como una CPU más potente 720 MHz y puerto Ethernet gigabit.



Figura 40 – fotografía de la antena dynadish 5

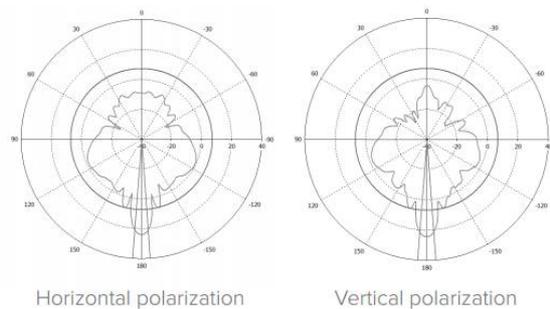


Figura 41 - diagramas de radiación que presenta la antena

4.10 Enlaces secundarios CPE o de cliente (enlace datos sensores)

Ubicaciones donde vamos a realizar las mediciones

Ubicación 1 – lectura de nivel de voltaje baterías

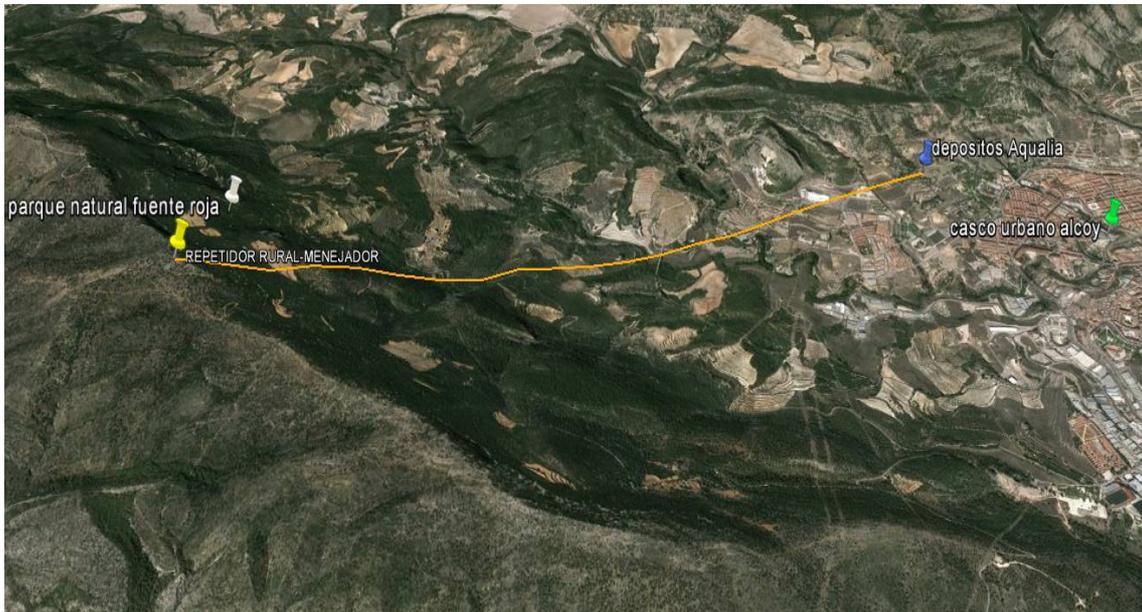


Figura 42 - detalle del enlace de comunicaciones del sensor ubicado en el depósito de Aqualia

Ubicación 2 – lectura de temperatura equipos en shellter de mediciones

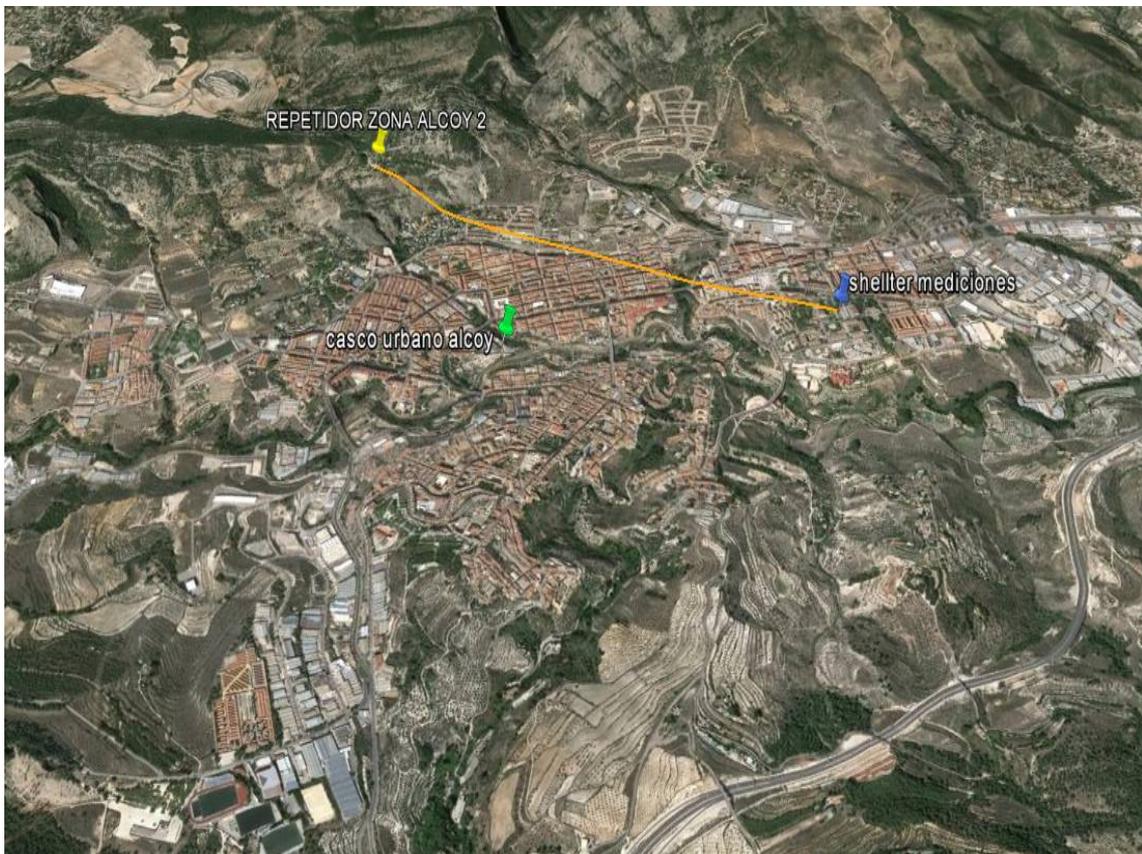


Figura 43 – detalle del enlace de comunicaciones del sensor ubicado en el shellter de mediciones en la zona norte.

Ubicación 3 – lectura de niveles de gases contaminantes

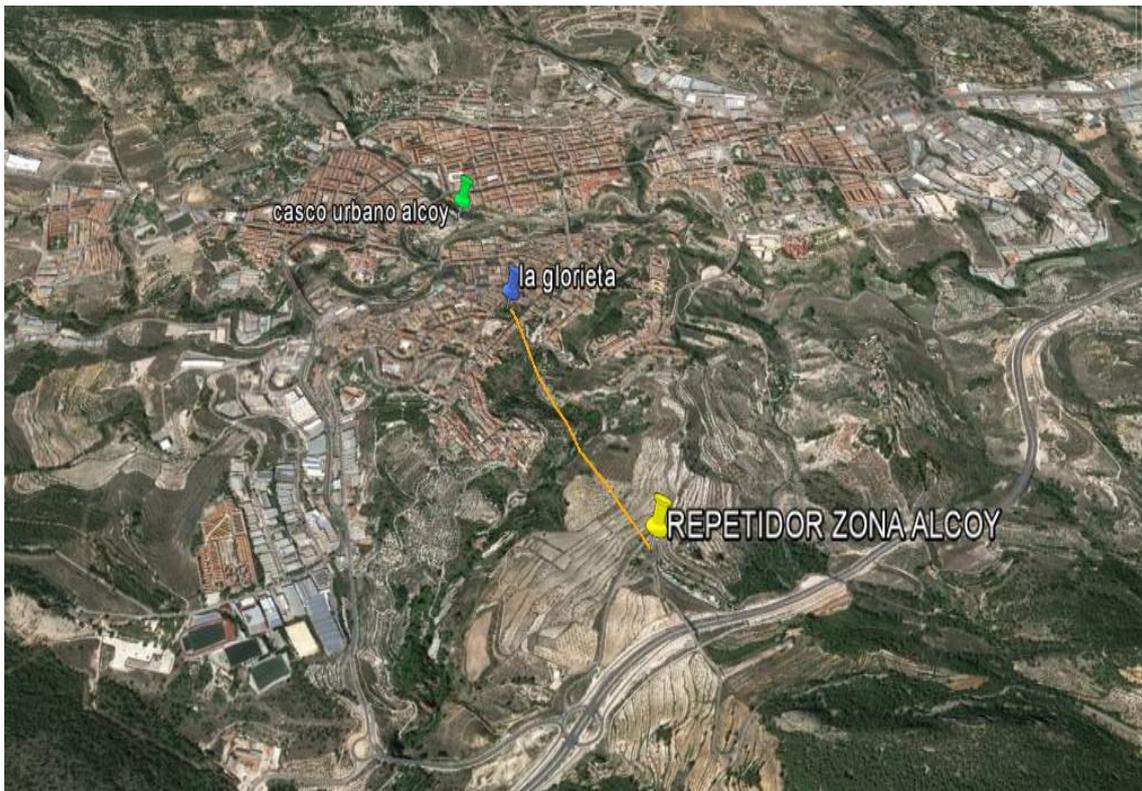


Figura 44 – detalle del enlace de comunicaciones del sensor ubicado en Parque de la glorieta

Ubicación 4 – lectura de niveles de consumo eléctrico

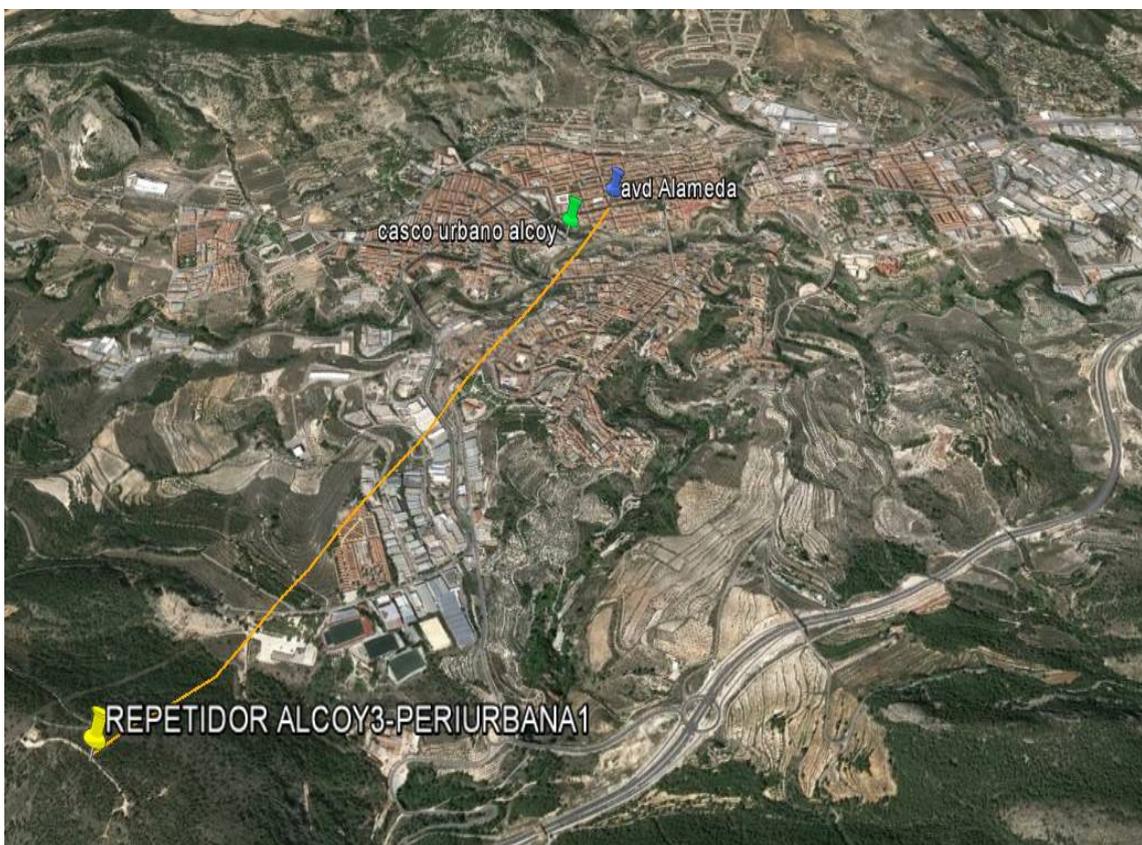


Figura 45 – detalle del enlace de comunicaciones del sensor ubicado avd. alameda

Vamos a comprobar la línea visual, para ello tenemos herramientas que nos ayudan al diseño de enlaces punto a punto:

- Enlace Preventorio – Depósitos Aqualia



Figura 46 - Grafico de perfil de elevación entre nodo principal y depósitos de agua

- Enlace Preventorio - Shellter mediciones zona norte

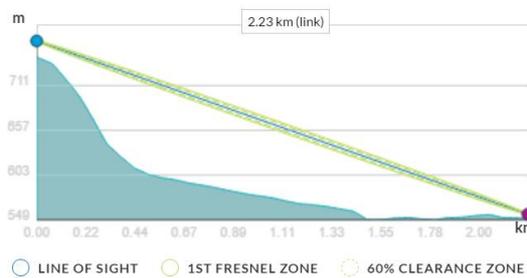


Figura 47 - perfil de elevación entre nodo Principal y Shellter mediciones en zona norte

- Enlace avenida alameda



Figura 48 – perfil de elevación entre repetidor san Antonio y Avd. alameda

- Enlace parque de la glorieta



Figura 49 – perfil de elevación entre repetidor radio-Alcoy y el parque la glorieta

Como podemos ver existe línea visual entre los dos puntos , si no existiera habría que plantearse la idea de utilizar otro sistema de comunicaciones , que por ejemplo tenga más propagación (frecuencias más bajas a las del wifi de 2,4 GHz o 5 GHz) o no sea dependiente de tener una línea de visión , como pueden ser módems de GSM. Otra solución sería buscar un emplazamiento más alto o moverse para salvar el obstáculo.

Además la zona Fresnel la tenemos despejada, es decir, no tenemos obstáculos dentro del lóbulo imaginario entre los dos puntos. Aunque los hubiera y hubiera visual, esta zona debería de estar despejada en un 60%, de lo contrario, pese a haber visual entre los dos puntos, la comunicación no sería estable y no garantizaríamos el buen funcionamiento del enlace.

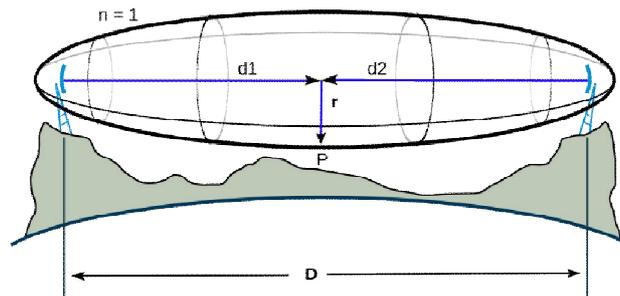


Figura 50 – detalle del lóbulo de la zona Fresnel y sus variables

Recordemos que se llama zona de Fresnel al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética, acústica, etc.- y un receptor, de modo que el desfase de las ondas en dicho volumen no supere los 180°.

Una alternativa en caso de que la zona fresnel tenga algún obstáculo sería la de utilizar otra frecuencia más alta u otra ubicación.

Recordemos que la zona Fresnel depende de la frecuencia, se calcula:

$$r_1 = \sqrt{\frac{n * \lambda * d_1 * d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde:

n = numero de radio de la zona fresnel (1)

λ = longitud de onda de la señal que vamos a utilizar en metros

d_1 = distancia del emisor hasta el centro del elipsoide en metros

d_2 = distancia del receptor hasta el centro del elipsoide en metros

Vamos a calcular un la zona fresnel para 2.4 GHz y para 5 GHz con uno de los ejemplos anteriores de forma que veremos la diferencia de radio para distinta frecuencia:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

$$f = \text{frecuencia en Hz}$$

$$c = \text{velocidad de propagacion de la luz en el vacio en m/s}$$

$$\lambda_{2.4} = \frac{300000000}{2400000000} = 0.125 \text{ m}$$

$$\lambda_{5.8} = \frac{300000000}{5800000000} = 0.051 \text{ m}$$

$$d_1 = d_2 = \frac{2230}{2} = 1115 \text{ m}$$

$$r_{2.4} = \sqrt{\frac{1 * 0.125 * 1115 * 1115}{1115 + 1115}} = 8.34 \text{ m}$$

$$r_{5.8} = \sqrt{\frac{1 * 0.051 * 1115 * 1115}{1115 + 1115}} = 5.33 \text{ m}$$

De esta forma podemos salvar algún obstáculo que pueda interferir dentro de la zona fresnel simplemente cambiando la frecuencia de los transeptores , como podemos observar no son grandes distancias las de los radios calculados , no obstante estas distancias de radio se ven incrementadas a cuan mayor vano tengamos .

Para el caso que nos contempla, el uso de 5Ghz reduce significativamente la zona fresnel respecto de utilizar los 2.4Ghz además de ofrecernos mejores prestaciones.

Debemos recordar que los enlaces deben presentar niveles de señal inferiores a 70 dB, señal a partir de la cual tenemos posibilidad de que el enlace no sea estable.

La ventaja que tenemos a la hora de monitorizar sensores, es que con un pequeño caudal sería suficiente para funcionar, con pequeño caudal nos referimos a señales desde 1mb a 5mb e incluso menos. Ya que por ejemplo una trama que nos envíe un sensor pueden significar cantidad de kilobytes

Recomendamos trabajar con un ancho de canal de 20 MHz, pues es un buen ancho de canal con suficiente capacidad de transporte de datos entre 50-100 Mb, si lo reducimos ganamos en distancia de alcance pero perdemos en capacidad de transporte. Para entornos urbanos lo dejamos así ya que es un entorno muy ruidoso en cuanto a frecuencias de 5 GHz se refiere.

La realidad sobre el terreno es otra y los cálculos de señal de poco sirven, pues hoy en día tenemos presente una gran cantidad de ruido presente en forma mucha señal wifi solapándose con otras, es decir utilizando las mismas frecuencias.

4.11 Montaje de nodo principal con funciones Cloud

Para interconectar todas las Wasp mote , lo que vamos a hacer es a utilizar la opción meshlium de libelium , la cual al igual que el resto de equipos sensores dispone de diversos sistemas de comunicación disponibles. En este caso el nodo meshlium nos permite almacenar datos en local o en la nube como veremos.

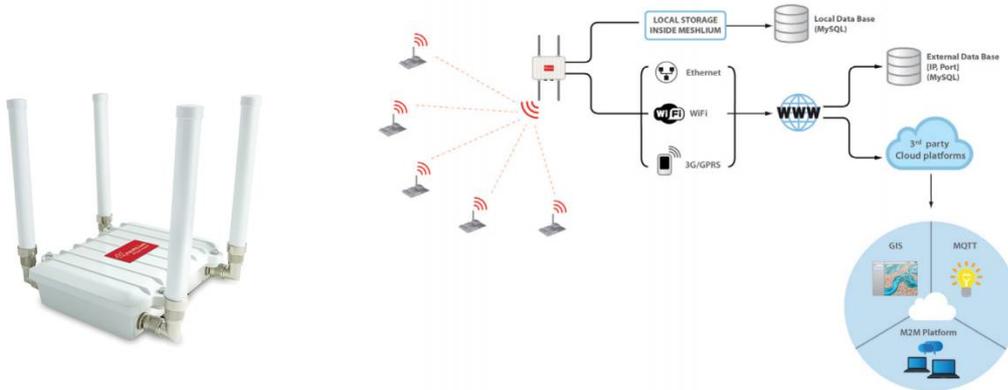


Figura 50 - Nodo Meshlium

Figura 51 – Posibilidades de conexión a bases de datos

Como podemos ver tenemos una solución potente la cual se adapta a lo que necesitamos. De forma que podemos almacenar datos en el propio nodo, en una base de datos externa o en la nube a través de las muchas soluciones cloud de terceros de las que se dispone hoy en día como son las siguientes marcas entre otras tantas.



Figura 52 - nombres de algunas de las marcas cloud que trabajan con libelium

El siguiente paso es configurar el meshlium, nos conectaremos a él a través de su nodo wifi abierto para su configuración. Una vez dentro solo tendremos que establecer el nombre de la red wifi el cual será el mismo que hemos establecido en las waspmote desplegadas sobre el terreno.

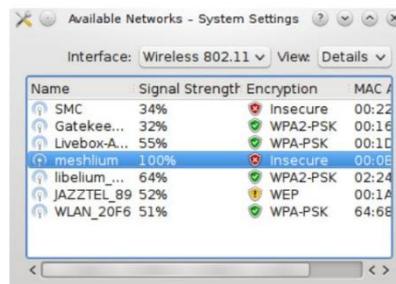


Figura 53 - nodo wifi que crea el meshlium para su gestión

Accederemos a su panel de control con las credenciales que nos facilita el fabricante



Figura 54 – Portal de acceso al Meshlium

Dentro del meshlium, en la pestaña sensores, nos reconocerá los nodos emisores si los hemos configurado bien, solo quedara revisar el estado de la base de datos interna, que también debe de tener todos los datos correctos.

Si todo ha ido bien deberíamos de empezar a recibir datos de los sensores.

ID	Date	Sync	ID Wasp	ID Secret	Frame Type	Frame Number	Status
89060	2013-01-31 10:05:39	1	N1	35690399	253	68	IN
89059	2013-01-31 10:05:39	1	N1	35690399	253	68	BA
89058	2013-01-31 10:05:39	1	N1	35690399	253	68	ST
89057	2013-01-31 10:05:29	1	N1	35690399	253	67	IN
89056	2013-01-31 10:05:29	1	N1	35690399	253	67	BA
89055	2013-01-31 10:05:29	1	N1	35690399	253	67	ST
89054	2013-01-31 10:05:18	1	N1	35690399	253	66	IN
89053	2013-01-31 10:05:18	1	N1	35690399	253	66	BA
89052	2013-01-31 10:05:18	1	N1	35690399	253	66	ST
89051	2013-01-31 10:05:08	1	N1	35690399	253	65	IN
89050	2013-01-31 10:05:08	1	N1	35690399	253	65	BA
89049	2013-01-31 10:05:08	1	N1	35690399	253	65	ST
89048	2013-01-31 10:04:57	1	N1	35690399	253	64	IN

Figura 55 - listado de últimos datos recibidos

Recordemos que desde la plataforma Meshlium se almacenan los datos. También se pueden visualizar los datos como será el caso desde otras utilidades a través de navegador web o exportables ficheros.

4.12 Solución cloud futura



Figura 56 - logotipo del cloud que se utilizara en un futuro

Como futura implementación, y buscando estandarización con el resto de smart cities , se pretende hacer uso de la plataforma cloud FI-WARE , planteando el uso y desarrollo de una plataforma realmente abierta para el desarrollo de las aplicaciones en el Internet del Futuro y la creación de un ecosistema de innovación abierto . Esta plataforma es liderada por telefónica I+D , la cual está totalmente involucrada en su desarrollo para el internet del futuro.

FI-WARE proporciona capacidades **Cloud** avanzadas basadas en el estándar abierto **OpenStack** sobre las que adicionalmente se ofrece una rica librería de enablers genéricos que facilitan el desarrollo de aplicaciones en múltiples sectores. La conexión con la Internet de las Cosas, el almacenamiento, acceso, procesado, publicación y análisis tanto de contenidos multimedia como de datos a gran escala, la co-creación de aplicaciones y contenidos, el desarrollo de interfaces de usuario avanzadas con capacidades 3D y de realidad aumentada, son ejemplo de problemáticas que resultará sencillo abordar utilizando la plataforma FI-WARE.

4.13 Muestreo

El número de medidas a leer va a ser nuestro factor limitante en cuanto a alimentación se refiere, a cuanta más medidas por hora o minuto menos va durarnos la batería.

Se va a realizar una medición a cada minuto, por lo tanto al día tendremos:

$$mediciones_{dia} = n_{muestréos} * horas$$

$$mediciones_{dia} = 60 * 24 = 1440 \text{ mediciones}$$

4.14 Cálculos justificativos

El Plug & Sense que vamos a utilizar es de la línea Smart City, el cual lleva incorporada una placa solar con la siguientes características:

Voltaje máximo = 3 W

Máximo voltaje 5.8 V

Corriente máxima = 520 mA

Dicha placa solar va a suministrar voltaje para cargar baterías y hacer funcionar la Waspote.

Detallamos ahora los consumos de la Waspote:

En estado normal u On :

$$I_{on} = 15 \times 10^{-3} A$$

En estado dormido:

$$I_{sleep} = 55 \times 10^{-6} A$$

Habrá que tener en cuenta el consumo adicional que tengamos del modulo de comunicaciones que utilicemos, pues va a ser diferente en función de cual elijamos.

En nuestro caso vamos a utilizar el estándar wifi 802.11 b/g/n ya que es un método muy implantado hoy en día y además dispone de muy bajo consumo respecto a los otros sistemas que nos facilita el fabricante.

Waspote modules

	ON	SLEEP	OFF	Sending	Receiving
XBee 802.15.4 PRO	56,68 mA	0,12 mA	0 μ A	187,58 mA	57,08 mA
Bee ZigBee PRO	45,56 mA	0,71 mA	0 μ A	105 mA	50,46 mA
XBee 868	60,82 mA	--	0 μ A	160 mA	73 mA
XBee 900	64,93 mA	0,93 mA	0 μ A	77 mA	66 mA
WIFI	33 mA	4 μ A	0 μ A	38 mA	38 mA
GPRS / GPRS+GPS	100 mA	1 mA	0 μ A	100 mA	100 mA
3G/GPRS	150mA	1 mA	0 μ A	300mA	300mA
Bluetooth Low Energy	8 mA	0.4 μ A	0 mA	36 mA	36 mA

Figura 57 - desglose de consumos según el método de comunicación a utilizar.

Como podemos ver tiene menos consumo la opción de Bluetooth low energy , sin embargo no esta tan implantada en la mayoría de dispositivos y el alcance además se nos vera mermado.

Por lo tanto vamos a tener unos consumos con el modulo wifi tales que:

$$Wifi_{on} = 33 * 10^{-3} A$$

$$Wifi_{sleep} = 4 * 10^{-6} A$$

$$Wifi_{Tx/Rx} = 38 * 10^{-3} A$$

Como sabemos que vamos a tomar datos a cada minuto tenemos que la placa va a tener unos tiempos de trabajo tales que:

$$T_{sleep} = 55 \text{ seg.}$$

$$T_{on} = 5 \text{ seg.}$$

Por lo tanto los consumos variaran en función del tiempo que estén activos, tendremos que al minuto la Wasmote habrá consumido:

$$I_{ton} = I_{on} + Wifi_{tx/rx}$$

$$I_{ton} = 15 * 10^{-3} + 38 * 10^{-3}$$

$$I_{ton} = 0.053 \text{ A}$$

Para un tiempo de 5 segundos respecto de 1h (3600 seg), tendremos un consumo de:

$$I_{ton5seg} = \frac{0.053 * 5}{3600} = 7.36 * 10^{-5} \text{ A}$$

Para el tiempo de ultra bajo consumo tendremos:

$$I_{tsleep} = I_{sleep} + wifi_{sleep}$$

$$I_{tsleep} = 55 * 10^{-6} + 4 * 10^{-6}$$

$$I_{tsleep} = 59 * 10^{-6} \text{ A}$$

Para un tiempo de funcionamiento en modo de ultra bajo consumo de 55 segundos respecto de 1 h (3600 seg) tendremos que:

$$I_{sleep55seg} = \frac{59 * 10^{-6} * 55}{3600} = 9.01 * 10^{-7} \text{ A}$$

Por lo tanto tendremos un consumo total para un minuto de:

$$I_{1min} = I_{sleep55seg} + I_{ton5seg}$$

$$I_{1min} = 7.36 * 10^{-5} + 9.01 * 10^{-7} \text{ A}$$

$$I_{1min} = 7.45 * 10^{-5} \text{ A}$$

Para una hora tendremos:

$$I_{total} = 7.45 * 10^{-5} * 60 \text{ min}$$

$$I_{total} = 4.47 * 10^{-3} \text{ Ah}$$

La batería que lleva incorporado el sistema es de 6600 mA, por lo tanto:

$$\text{Intensidad batería} = I_{bat} = 6.6 \text{ Ah}$$

$$\text{Intensidad consumo waspmote} = I_{total} = 4.47 * 10^{-3} \text{ Ah}$$

$$\text{Autonomía (horas)} = \frac{I_{bat}}{I_{total}}$$

$$\text{Autonomía (horas)} = \frac{6.6 \text{ Ah}}{4.47 * 10^{-3} \text{ Ah}}$$

$$\text{Autonomía (horas)} = 1476.51 \text{ horas}$$

Lo pasamos a días y tenemos que:

$$\text{días} = \frac{1476.51}{24} = 61.52 \text{ días}$$

Como vemos, con la batería que nos da el fabricante, tenemos para aproximadamente dos meses sin tener luz solar o en muy malas condiciones como podrían ser los días más desfavorables de invierno, entre diciembre y enero.

La inclinación del panel solar esta a 45 grados y solo tendremos que tener la precaución de poner la placa solar dirección sur. Esta inclinación viene determinada por el fabricante con la cual se pretende sacar el máximo rendimiento.

Respecto a la placa solar fotovoltaica, también esta proporcionada por el fabricante el cual nos asegura una larga duración y carga idónea para el equipo.

Tendremos que tener en cuenta que la autonomía de la batería va a depender del número de muestreos que tomemos, así que este es un parámetro importante.

4.15 Recogida de datos

Aquí tenemos la visualización de las diferentes variables, vamos a mostrar diferentes visualizaciones en función del tiempo de medidas, es decir se van a mostrar medidas de 24 h, 7 días y 1 mes o 1 año en función de la variable que mostremos, para que podamos apreciar variaciones de las variables en los diferentes días

- Medida de voltaje de baterías en depósito

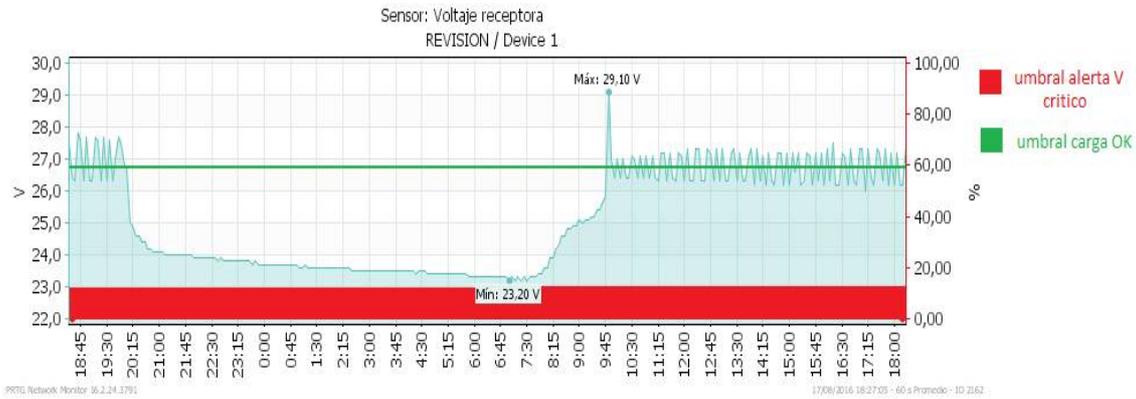


Figura 58 – niveles de voltaje de de baterías leídos en 24h

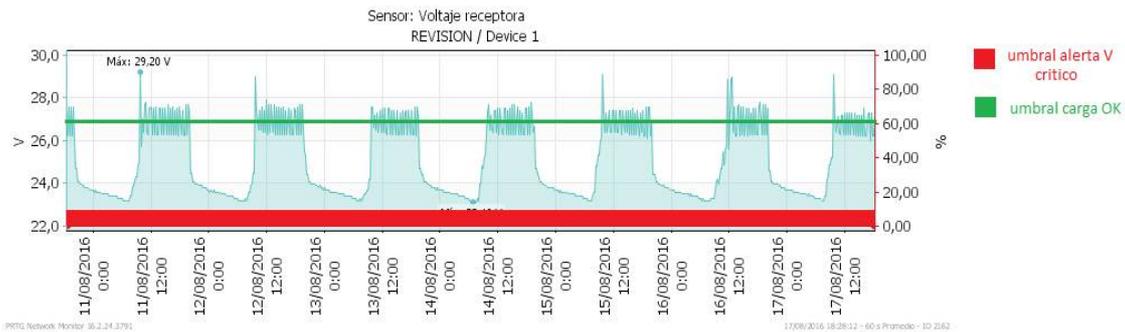


Figura 59 – niveles de voltaje de baterías leídos en 7 días

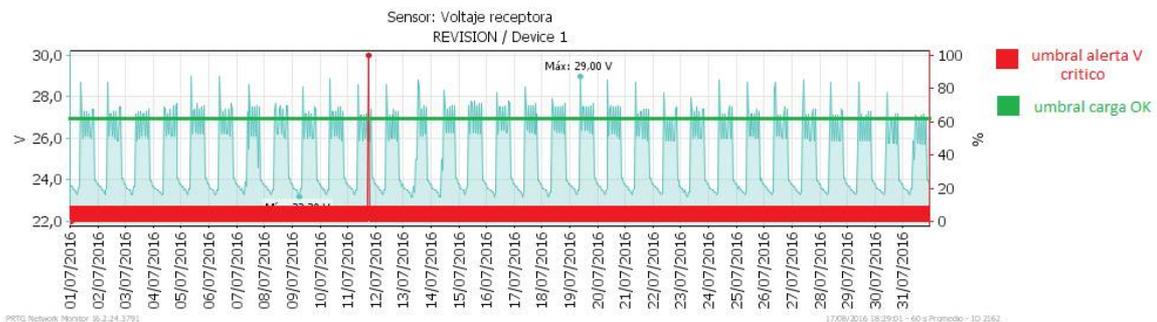


Figura 60 – niveles de voltaje de baterías leídos en 1 mes

➤ Medida de temperatura cuadros shellter de mediciones

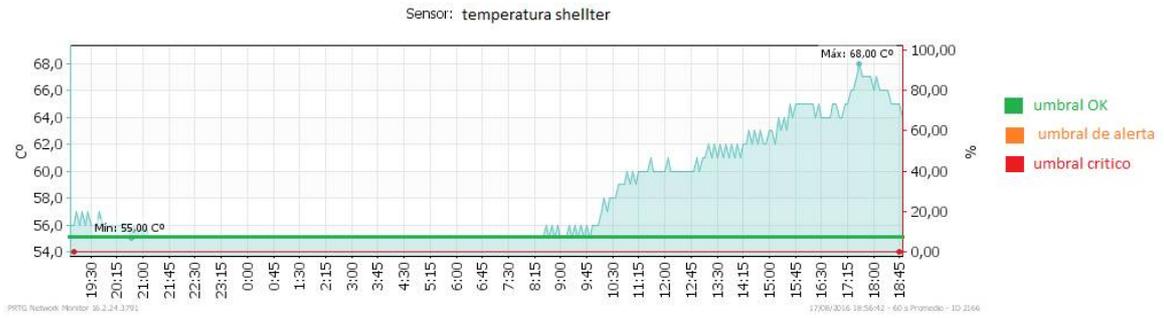


Figura 61 – niveles de temperatura en shellter de mediciones para 24h

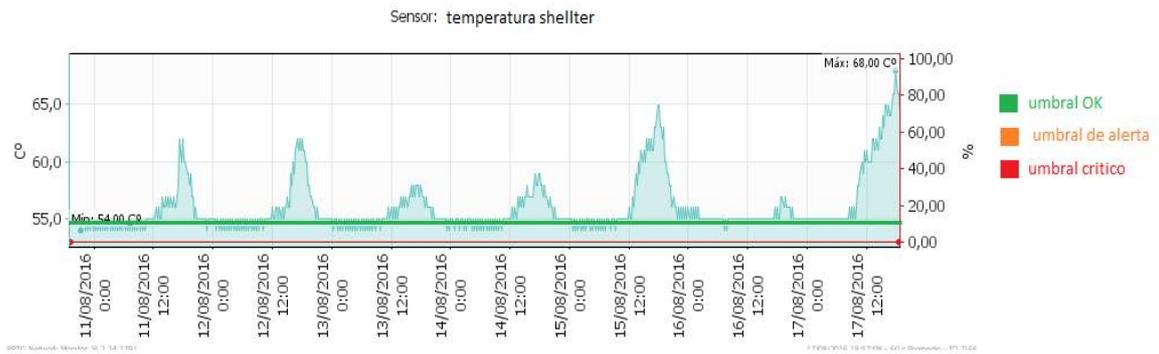


Figura 62 – niveles de temperatura en shellter de mediciones para 7 días

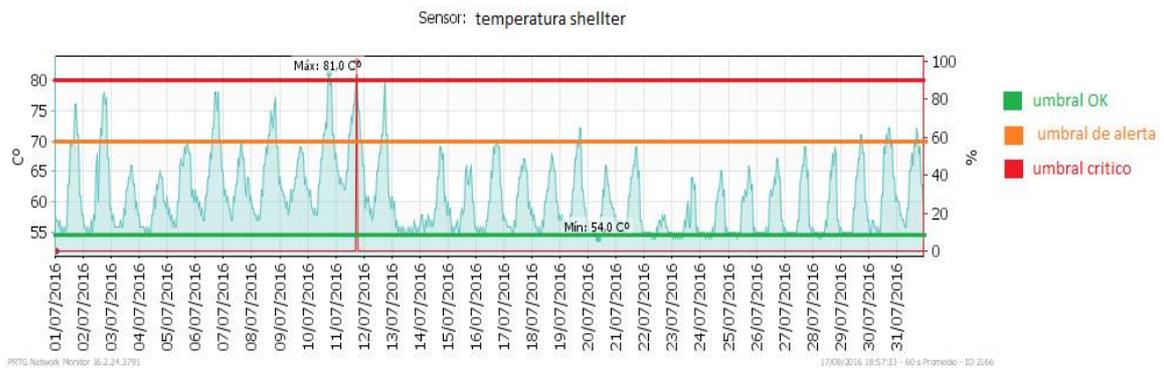


Figura 63 – niveles de temperatura en shellter de mediciones para 1 mes

➤ Medidas de gases contaminantes

▪ Mediciones para 24h

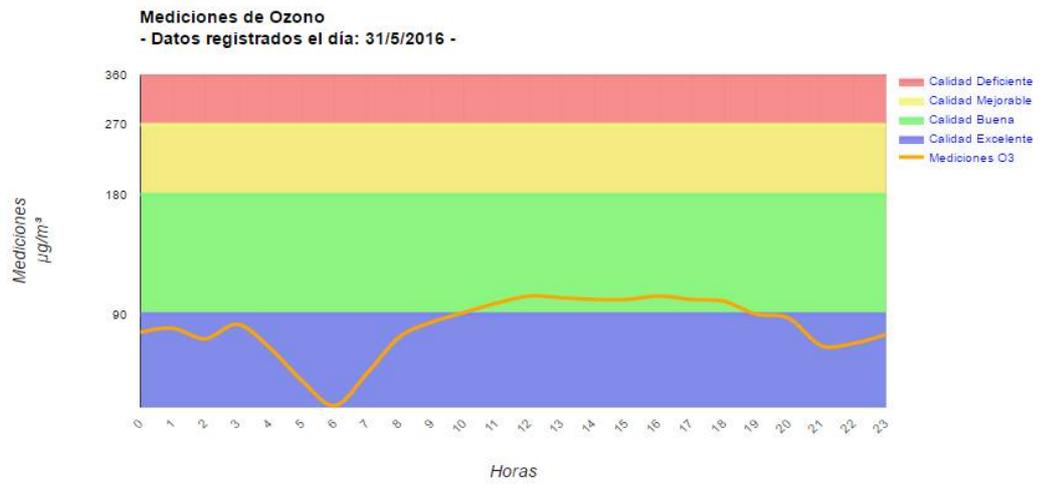


Figura 64 – medidas y umbrales de niveles de ozono para 24h

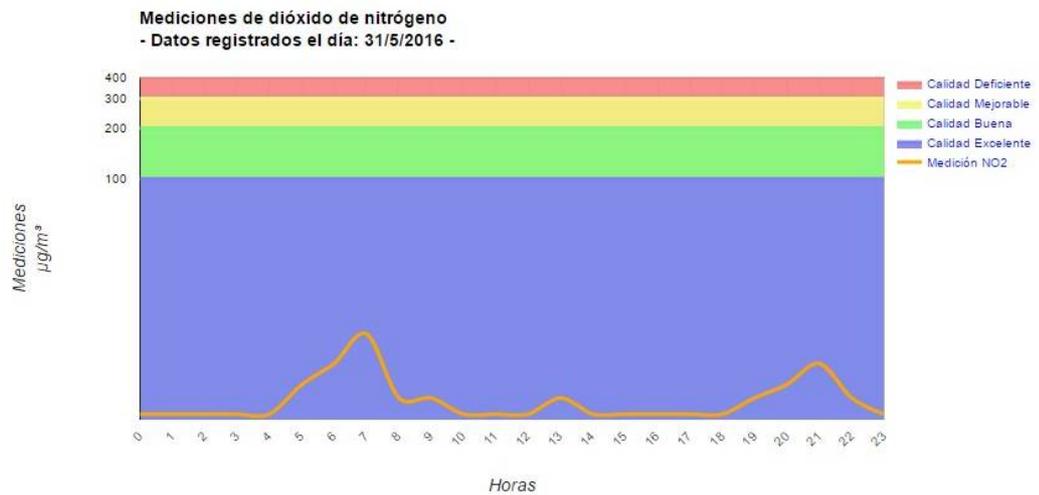


Figura 65 – medidas y umbrales de niveles de dióxido de nitrógeno para 24h

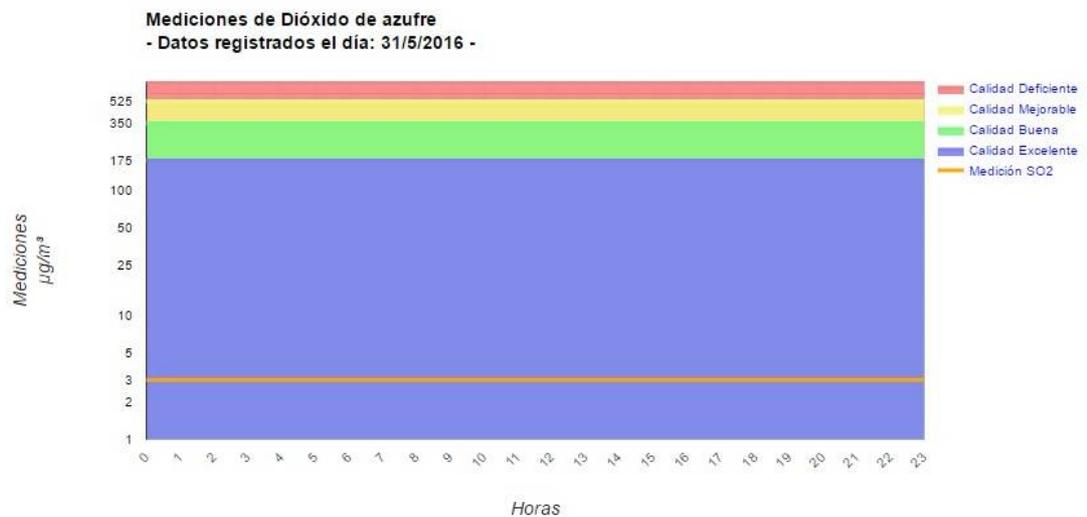


Figura 66 – medidas y umbrales de niveles de dióxido de azufre para 24h

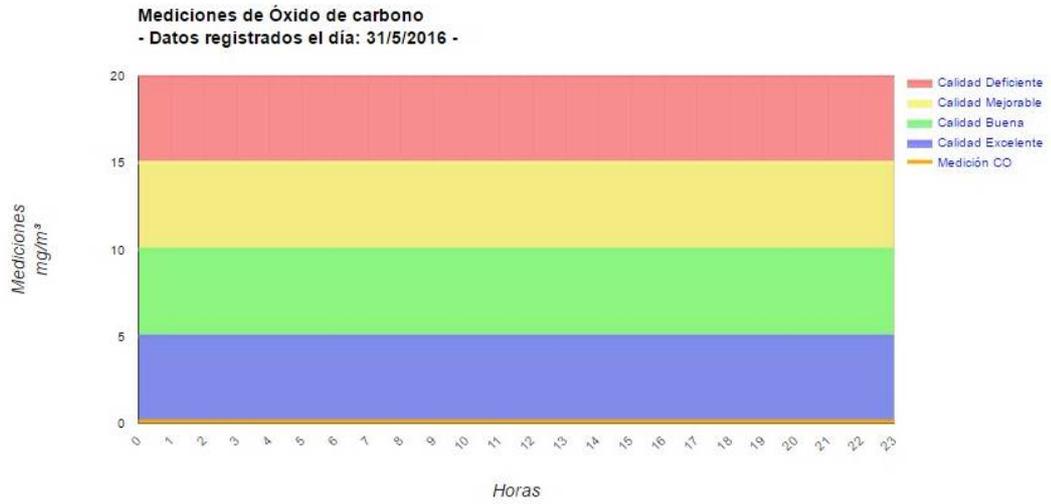


Figura 67 – medidas y umbrales de niveles de monóxido de carbono para 24h

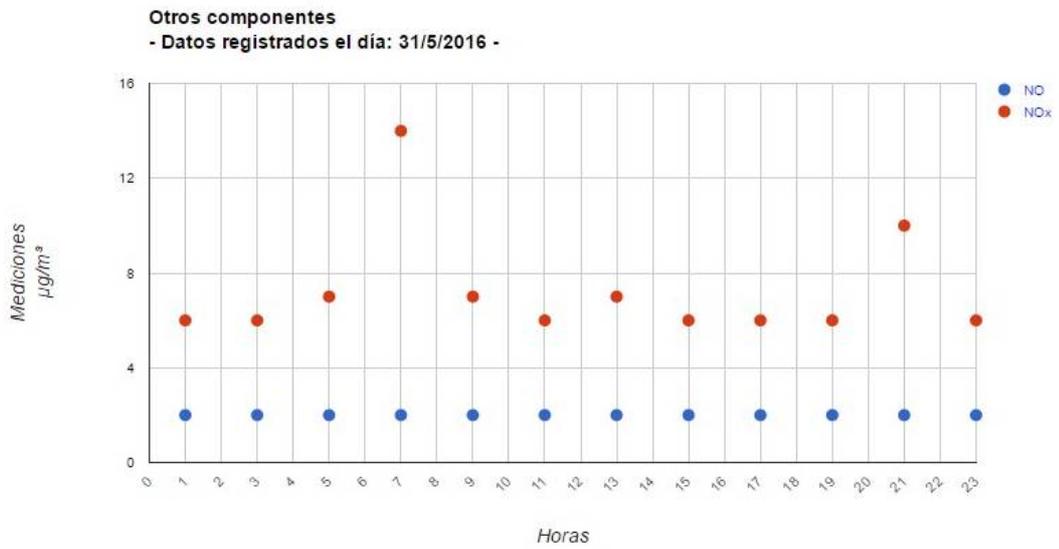


Figura 68 – medidas y umbrales de niveles de NO y NOx para 24h

- Medidas para 7 días

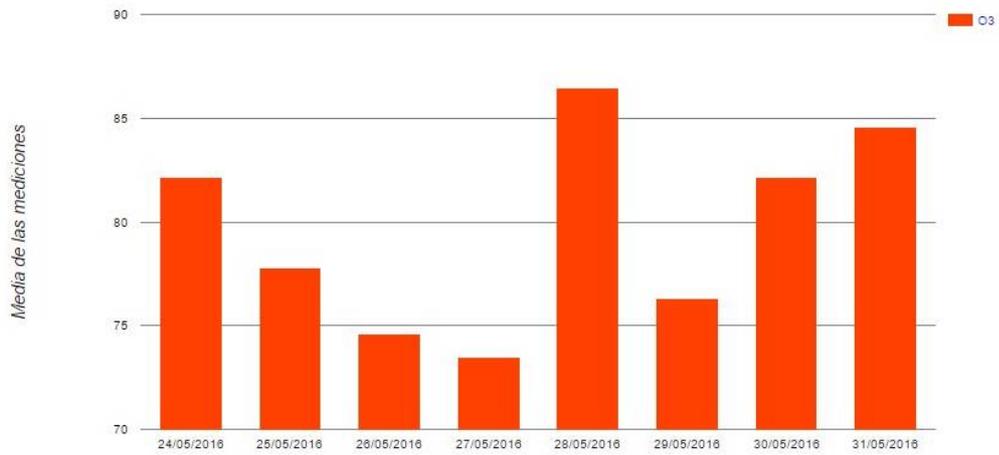


Figura 69 – mediciones semanales de niveles de ozono

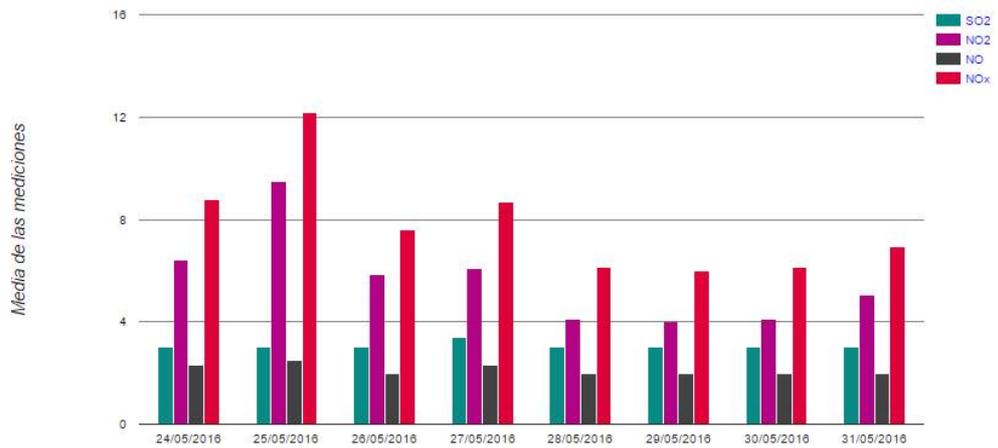


Figura 70 – mediciones semanales de distintos niveles de gases contaminantes

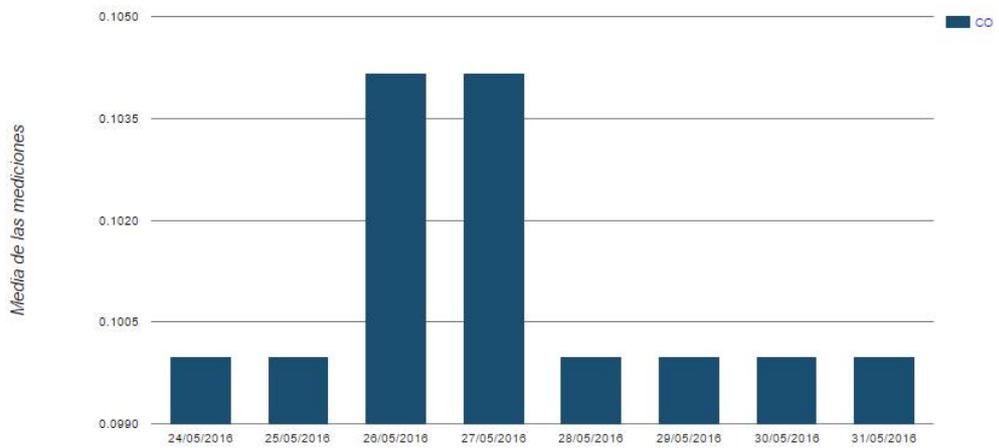


Figura 71 – mediciones semanales de niveles de monóxido de carbono

- Medidas para 1 mes



Figura 72 – niveles de ozono para durante 1 mes

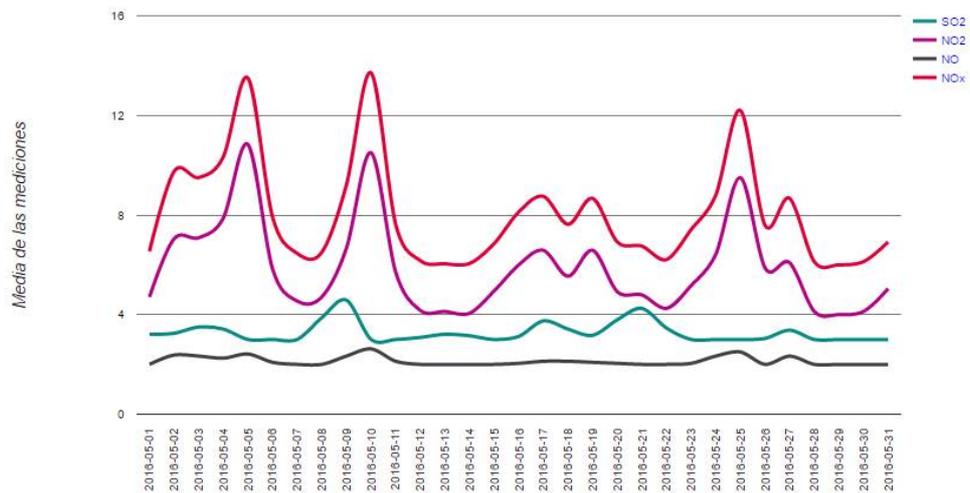


Figura 73 – niveles de distintos gases contaminantes durante 1 mes

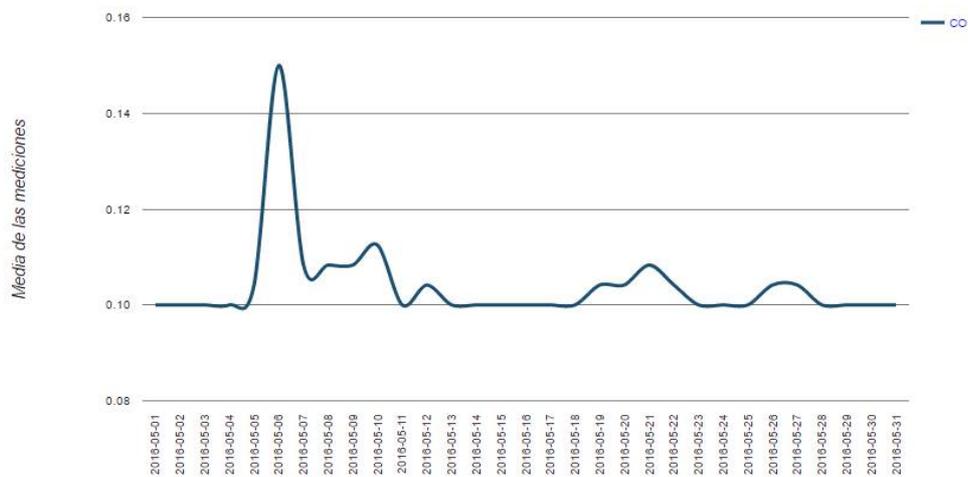


Figura 74 – niveles de monóxido de carbono durante 1 mes

➤ Medida de consumo eléctrico

Calle: Alameda, n° 1 (Colón, 1-1)

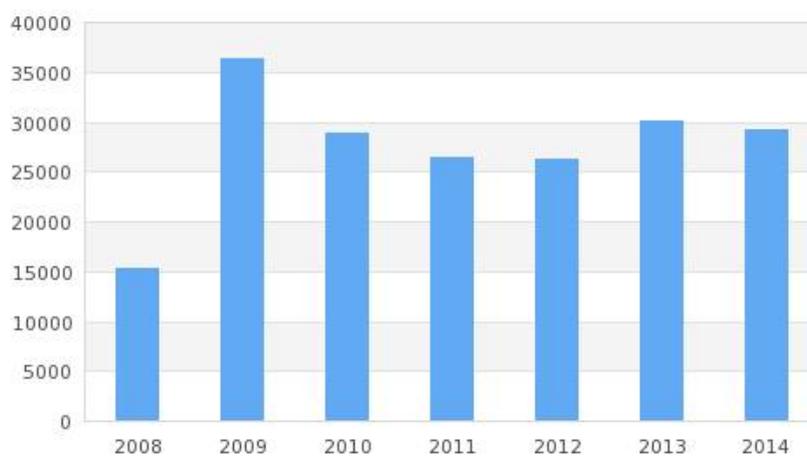


Figura 75 – lecturas de consumo anuales en Mw

Calle: Alameda, n° 27-1

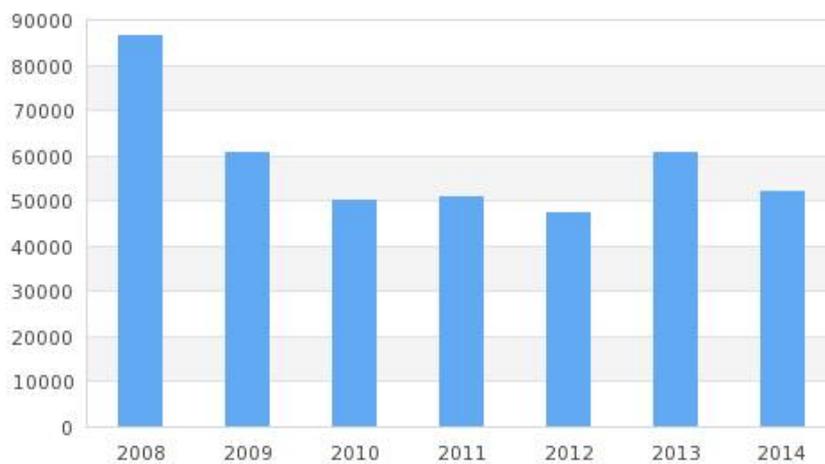


Figura 76 – lecturas de consumo anuales en Mw

Calle: Alameda, n° 79-2

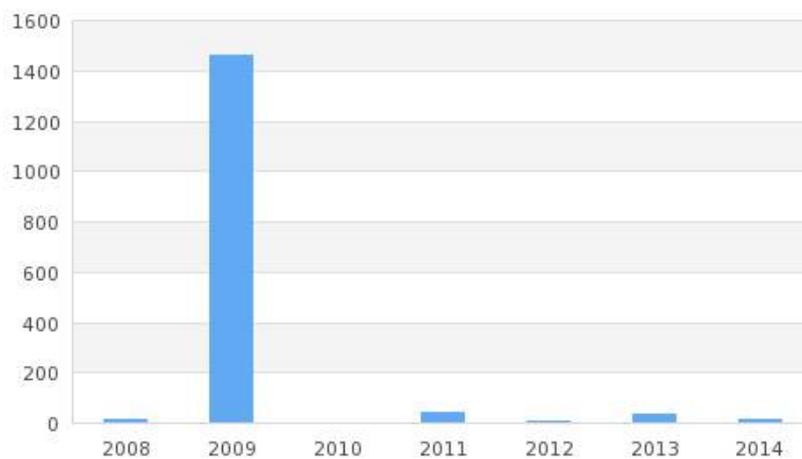


Figura 77 – lecturas de consumo anuales en Mw

5.1 Presupuesto

Material	Unidades	Precio Unidad	Total
Waspote plug&sense	2	169	338
antenas Pap Dynadish 5	3	114,5	343,5
cable rp-sma	14	8,3	116,2
nodo meshlium	1	350,99	350,99
sectorial 90 ubiquiti	5	110	550
sectorial 120 ubiquiti	1	119,9	119,9
antena omni omnitik 5 upa	1	124,59	124,59
equipos basebox 5	6	65,58	393,48
cable ftp cat 5	1	149	149
material auxiliar instalación	1	60	60
mano de obra instalación	15	55	825
switches gestionables tp-link 3210	4	49,5	198
cuadro exterior	4	60	240
total presupuesto €			3808,66

Conceptos	Unidades	Precio Unidad	Total
redacción del proyecto	1	1200	1200
configuración y puesta en marcha	1	1100	1100
diseño de la red	1	2200	2200
total conceptos €			4500

Total presupuesto ejecución _____ 8308.66 € mas iva

6.1 Conclusiones

Como hemos podido ver, hoy en día casi todo puede estar conectado al internet de las cosas desde una placa de medición de sensores hasta un marcapasos para el corazón o incluso la nevera de casa.

Es por ello que la red de comunicaciones es la base de todo el sistema. La fase de diseñar una red de comunicaciones que cumpla los estándares más demandados sirve de base para facilitar un rápida, eficaz y eficiente despliegue de la red de datos que hemos diseñado. También el hecho de ser una red multipropósito nos proporciona un valor añadido de esta, funcionando bajo el estándar ipv4.

Disponemos a nuestro alcance de herramientas y conocimientos para hacer de las ciudades y los hogares lugares más eficientes y más sostenibles con el medio que nos rodea.

El internet de las cosas (IoT) está cada vez más en auge, es por ello que al ser un sector de nuevo nacimiento nos está sirviendo para mejorar y aprender y enfrentarnos a nuevos retos y despliegues que van surgiendo en un entorno como es la ciudad, tan cambiante.

Además de las soluciones obtenidas con la recogida y análisis de datos, tenemos también que el internet de las cosas está repercutiendo positivamente en las ciudades en forma de creación de empresas y puestos de trabajo en las ciudades, ya que un despliegue en un entorno como es una ciudad de tamaño medio, requiere de personal que la mantenga y analice para que los datos que obtengamos sean de calidad y sirvan de algo.

Y además, es bueno que el ciudadano de a pie sea consciente y tenga a su alcance los datos que se recaben, así como los beneficios que obtenemos del análisis de los datos y las decisiones que se deriven de estos.

En cuanto a la nube o cloud, recordemos que los datos deben ser abiertos (open data), accesible para el técnico, para el político, pero también para el ciudadano para que todo el mundo pueda aportar su granito de arena y mejorar la estructura económica y social del entorno de la ciudad.

No obstante además de estas premisas, la nube o plataforma donde alojar los datos debe ser segura, robusta y flexible para poder crecer y adaptarse a los requerimientos que la dinámica de la ciudad demande, tanto a nivel de IoT como de e-government, como se comenta en dicho proyecto actualmente las grandes operadoras de telecomunicaciones nacionales y a nivel mundial están invirtiendo cantidades considerables de dinero en este tipo de plataformas cloud, abriéndolas a emprendedores y a estudiantes con el fin de impulsar el desarrollo y despegue global de las aplicaciones del internet del futuro, la idea es que se provea de una arquitectura pública abierta y libre, poniendo al alcance de nuestra mano servicios y herramientas para que el desarrollo tecnológico vaya en aumento, sin dejar de ser una plataforma abierta e innovadora.

En cuanto a mi experiencia con este proyecto, he trabajado sobre sistemas que no había visto a lo largo del grado, y que me ofrece una perspectiva muy atractiva para explotar en un futuro cercano. Tener experiencia en este sector es una buena ventaja ya que las posibilidades se multiplican.

7.1 Bibliografía

<http://hackaday.com/2016/02/28/introducing-the-raspberry-pi-3/>

<http://www.prometec.net/consumos-Arduino/>

www.libelium.com

<https://www.freemaptools.com/area-calculator.htm>

www.routerboard.com

8.0 Anexo

8.1 Documentación técnica Equipos Transmisión

Equipos de transmisión pasivos Antenas sectoriales 90-120°

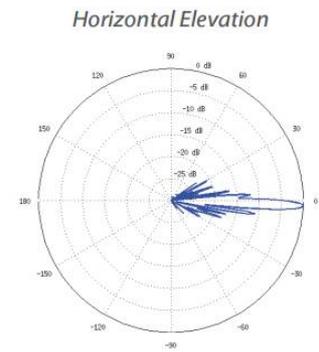
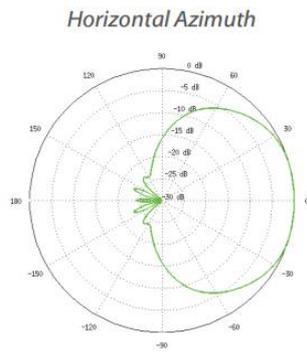
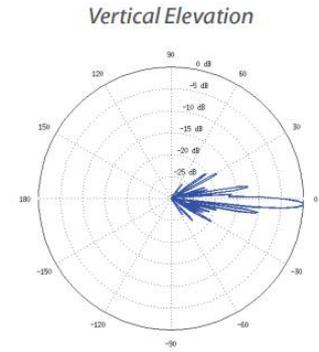
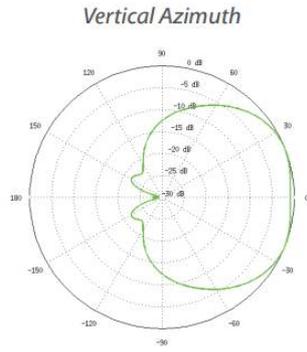
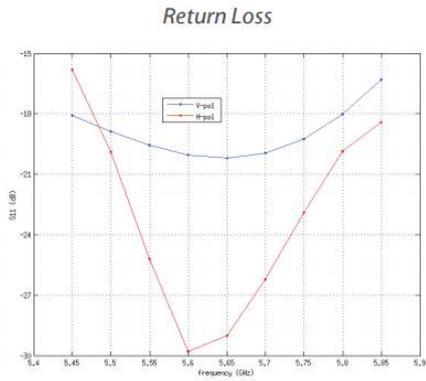


➤ Especificaciones

	Antenna Characteristics			
Model	AM-5G16-120	AM-5G17-90	AM-5G19-120	AM-5G20-90
Dimensions* (mm)	367 x 63 x 41	367 x 63 x 41	700 x 135 x 73	700 x 135 x 70
Weight**	1.1 kg	1.1 kg	5.9 kg	5.9 kg
Frequency Range	5.10 - 5.85 GHz	4.90 - 5.85 GHz	5.15 - 5.85 GHz	5.15 - 5.85 GHz
Gain	15.0 - 16.0 dBi	16.1 - 17.1 dBi	18.6 - 19.1 dBi	19.4 - 20.3 dBi
HPOL Beamwidth	137° (6 dB)	72° (6 dB)	123° (6 dB)	91° (6 dB)
VPOL Beamwidth	118° (6 dB)	93° (6 dB)	123° (6 dB)	85° (6 dB)
Electrical Beamwidth	8°	8°	4°	4°
Electrical Downtilt	4°	4°	2°	2°
Max. VSWR	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
Wind Survivability	125 mph	125 mph	125 mph	125 mph
Wind Loading	6 lbf @100 mph	6 lbf @100 mph	20 lbf @ 100 mph	26 lbf @ 100 mph
Polarization	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear	Dual-Linear
Cross-pol Isolation	22 dB Min.	22 dB Min.	28 dB Min.	28 dB Min.
ETSI Specification	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2	EN 302 326 DN2
Mounting	Universal Pole Mount, RocketM Bracket, and Weatherproof RF Jumpers Included			

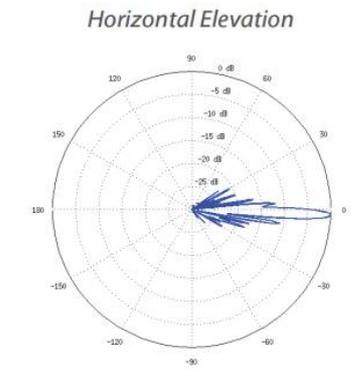
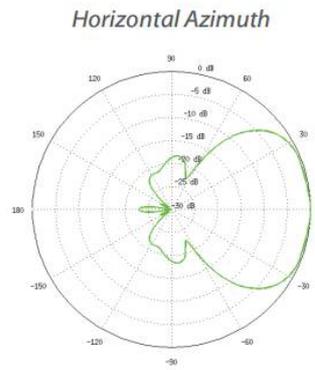
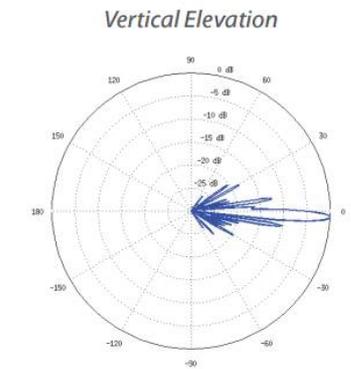
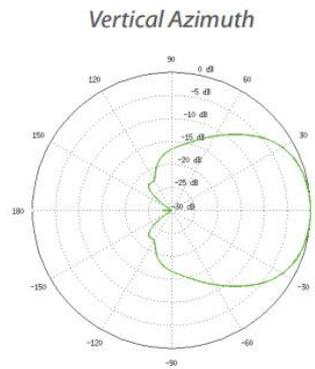
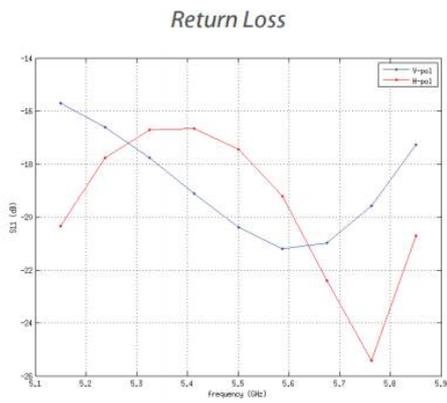
➤ Parámetros de radiación sector 120°

AM-5G19-120 Antenna Information



➤ Parámetros de radiación sector 90°

AM-5G20-90 Antenna Information



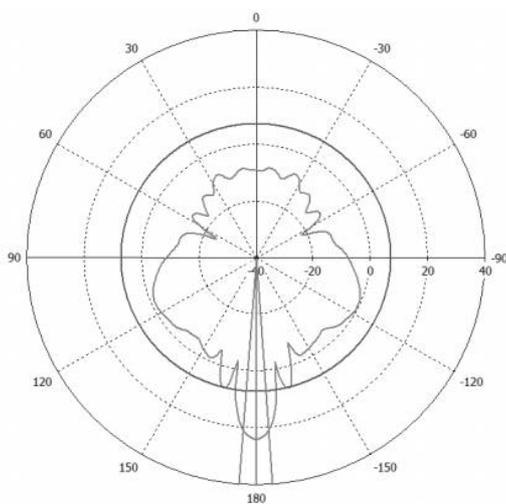
Equipos Punto a Punto Dynadish 5:

Specifications

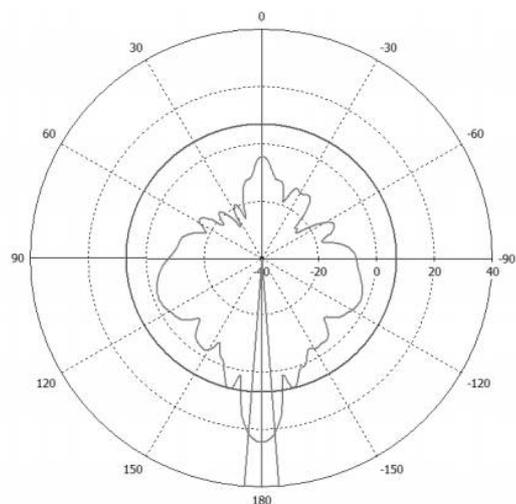
Product code	RBDynaDishG-5HacD
CPU	QCA9557 720 MHz
Size of RAM	128 MB
10/100/1000 Ethernet ports	1
Wireless	Built-in 5 GHz 802.11ac, dual-chain
Frequency range	4920 - 6100 MHz (Operating range limited by Country Regulations)
Antenna gain	25 dBi
Antenna beam width	8°
Wireless chip model	QCA9892
Port to port isolation	23 db
Return loss	< 15 db
VSWR	1.5
PoE in	Yes
Supported input voltage	11V - 60V passive PoE or 802.3af/at with unshielded cable
Voltage Monitor	Yes
PCB temperature monitor	Yes
CPU temperature monitor	No
Dimensions	Ø 404 mm, height 175 mm (without mount)
License level	3
Operating System	RouterOS
Max Power consumption	16 W
Supported channels	20/40/80 MHz



Parámetros radiación



Horizontal polarization



Vertical polarization

Equipos tranceptor Basebox 5



Especificaciones

Model	BaseBox 5	BaseBox 2
Order code	RB912UAG-5HPnD-OUT	RB912UAG-2HPnD-OUT
Features	1 Ethernet, 1 miniPCIe, USB, Additional memory, Gigabit, High power, Dual chain, Outdoor case	
CPU	Atheros AR9342 600MHz network processor	
Memory	64MB DDR onboard memory	
Ethernet	One Gigabit port with Auto-MDI/X	
Wireless	Built in 5GHz 802.11a/n, 2x RP-SMA connectors	Built in 2GHz 802.11b/g/n, 2x RP-SMA connectors
Connector type	RP-SMA Female (outside thread)	
Extras	beeper, signal and status LEDs, SIM slot (requires 3g miniPCIe card), voltage and temperature sensors	
Expansion	miniPCIe slot for 802.11 or 3G (using 3G disables the USB port), USB 2.0 port	
Power options	PoE: 8-30V DC on Ether1 (Non 802.3af). Consumption: 14W at 24V	
Dimensions	246x135x50mm; Weight: 390g	
OS	MikroTik RouterOS, Level4 license (supports wireless AP mode)	
Kit includes	RB912 outdoor unit, PSU, PoE injector, mounting loop, DIN rail mount, mounting ring	

Parámetros sensibilidad y rango de frecuencias

RB912UAG-5HPnD-OUT	
TX/RX at MCS0	30dBm / -96dBm
TX/RX at MCS7	24dBm / -78dBm
TX/RX at 6Mbit	30dBm / -96dBm
TX/RX at 54Mbit	27dBm / -80dBm
Frequency range	4900-5920MHz

Equipo omnidireccional Omnitik 5 UPA

OmniTIK UPA-5HnD



OmniTIK is a weatherproof outdoor AP with dual-polarized omni antennas - the perfect companion for our SXT, or for any other 5GHz 802.11a/n standard device.

Weatherproof, durable and ready to use. It has five 10/100 Ethernet ports, PoE support and a built-in 400mW 802.11a/n wireless radio. It supports Nv2 TDMA technology with up to 200Mbit aggregate throughput.

LED signal indicators on it's back are fully customisable, show Ethernet activity or wireless signal - or any other information from RouterOS. The USB port gives the ability to connect a 3G modem or a storage drive.

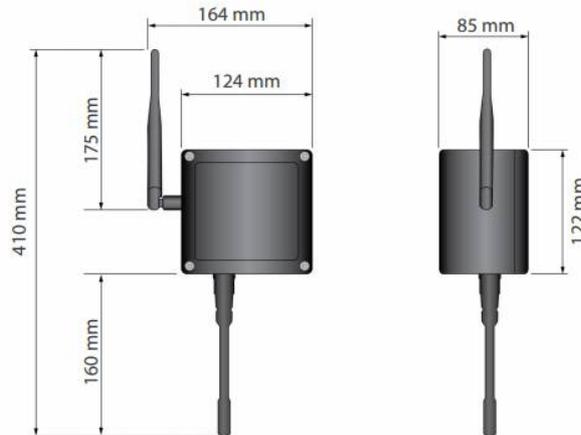
The OmniTIK UPA also features power output on it's ethernet ports. Ports 2-5 can power other PoE capable devices with the same voltage as applied to the unit. Less power adapters to worry about.

Especificaciones

CPU	Atheros AR7241 400MHz network processor
Memory	32MB DDR SDRAM onboard memory
Boot loader	RouterBOOT
Data storage	64MB onboard NAND memory chip
Ethernet	Five 10/100 Mbit/s Fast Ethernet port with Auto-MDI/X, L2MTU frame size up to 2030
Wireless	Wireless Built-in 5GHz 802.11a/n 2x2 MIMO
Antenna	Two 7.5dBi (+/-1dBi) omni with different polarities (ch0 horizontal, ch1 vertical)
Extras	Reset switch, Beeper, USB 2.0 port, Voltage monitor, Temperature monitor
LEDs	5 programmable LEDs (Ethernetactivity by default), one power LED
Power options	Passive 9-30V PoE only. 16KV ESD protection on RF port
Power output	Supports PoE output on ports 2-5. Max current 500mA per port
Dimensions	368x125x55mm, 520g
Operating temp.	-30C to +70C
Operating system	MikroTik RouterOS v5, Level4 license
Package contains	OmniTIK unit, mounting bracket, hose clamp, PoE injector, 24V 2.5A power adapter
RX sensitivity	802.11a: -96 dBm @ 6Mbps to -80 dBm @ 54 Mbps 802.11n: -96 dBm @ MCS0 to -77 dBm @ MCS7
TX power	802.11a: 26dBm @ 6Mbps to 22dBm @ 54 Mbps 802.11n: 25dBm @ MCS0 to 19dBm @ MCS7
Modulations	OFDM: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM DSSS: DBPSK, DQPSK, CCK

8.2 Documentación técnica Equipos sensores

➤ Especificaciones Wasmote Plug&sense



- **Material:** polycarbonate
- **Sealing:** polyurethane
- **Cover screws:** stainless steel
- **Ingress protection:** IP65
- **Impact resistance:** IK08
- **Rated insulation voltage AC:** 690 V
- **Rated insulation voltage DC:** 1000 V
- **Heavy metals-free:** Yes
- **Weatherproof:** true - nach UL 746 C
- **Ambient temperature (min.):** -10 °C
- **Ambient temperature (max.):** 50 °C
- **Approximated weight:** 800 g





- Especificaciones técnicas comunicaciones

7. Radios

Waspote Plug & Sense! may integrate many radio modules for communication in the ISM (Industrial Scientific Medical) bands.

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
LoRaWAN	LoRaWAN	868, 900 and 433 MHz bands	up to 18.5 dBm	-136dBm	- km - Typical base station range
LoRa	RF	868 and 900 MHz	14 dBm	-137dBm	21+Km
Sigfox	Sigfox	868MHz	14 dBm	-126dBm	- km - Typical base station range
WiFi	802.11b/g	2.4GHz	0dBm - 12dBm	-83dBm	50m-500m
GPRS Pro and GPRS+GPS	-	850MHz/900MHz/1800MHz/1900MHz	2W(Class4) 850MHz/900MHz, 1W(Class1) 1800MHz/1900MHz	-109dBm	- Km - Typical carrier range
3G/GPRS	-	Europe version: Dual-band UMTS, tri-band GSM/GPRS/EDGE America/Australia version: Dual-Band: UMTS, quad-Band GSM/GPRS/EDGE	UMTS 0.25 W, GSM 2 W, DCS/PCS 1 W	-106dBm	- Km - Typical carrier range
Bluetooth Low Energy	Bluetooth v.4.0 / Bluetooth Smart	2.4GHz	3dBm	-103dBm	100m

- Especificaciones placa solar

13. External solar panel

This panel should be connected to the external solar panel connector. As shown in picture below, it has identical shape as sensor connectors, but is placed on the control side of the enclosure, below the ON/OFF button.

External solar panel features

- **Max power:** 3W
- **Max power voltage:** 5,8 V
- **Max power current:** 520 mA
- **Dimensions:** 234 x 160 x 17 mm
- **Weight:** 0.54 Kgs



- Especificaciones de consumo

26. Energy Consumption

26.1. Consumption tables

Waspote

ON	15 mA
Sleep	55 uA
Deep sleep	55 uA

Waspote modules

	ON	SLEEP	OFF	Sending	Receiving
XBee 802.15.4 PRO	56,68 mA	0,12 mA	0 μA	187,58 mA	57,08 mA
Bee ZigBee PRO	45,56 mA	0,71 mA	0 μA	105 mA	50,46 mA
XBee 868	60,82 mA	--	0 μA	160 mA	73 mA
XBee 900	64,93 mA	0,93 mA	0 μA	77 mA	66 mA
WIFI	33 mA	4 uA	0 uA	38 mA	38 mA
GPRS / GPRS+GPS	100 mA	1 mA	0 uA	100 mA	100 mA
3G/GPRS	150mA	1 mA	0 uA	300mA	300mA
Bluetooth Low Energy	8 mA	0.4 uA	0 mA	36 mA	36 mA

Para información más detallada:

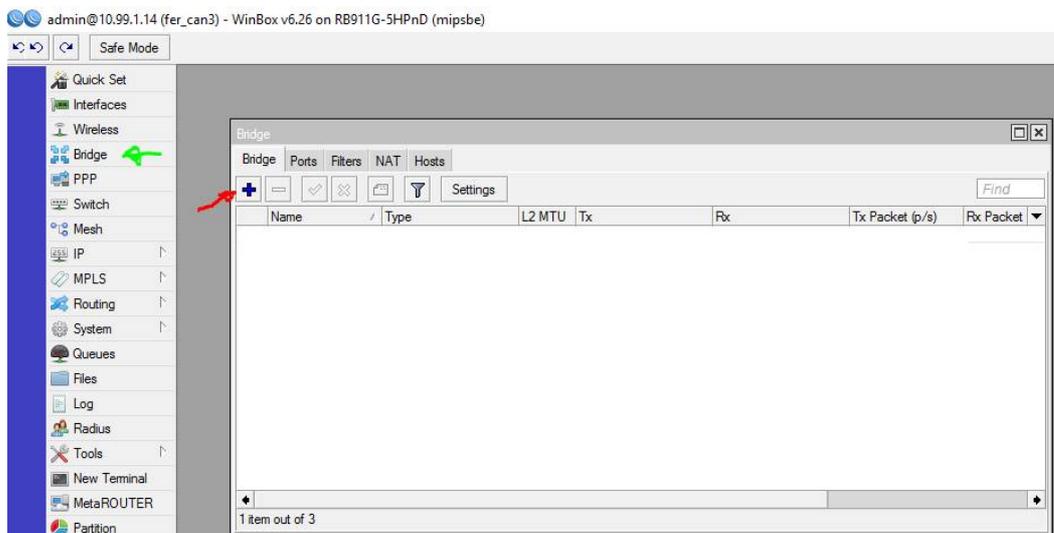
http://www.libelium.com/downloads/documentation/waspote_plug_and_sense_technical_guide.pdf

8.3 Programación de los equipos de red

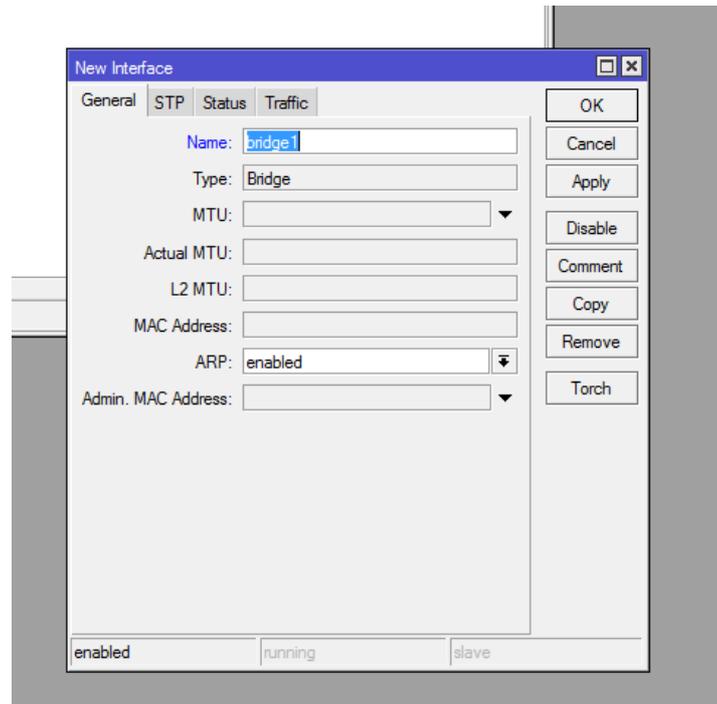
Programación básica para cualquier equipo mikrotik:

- Crear el bridge:

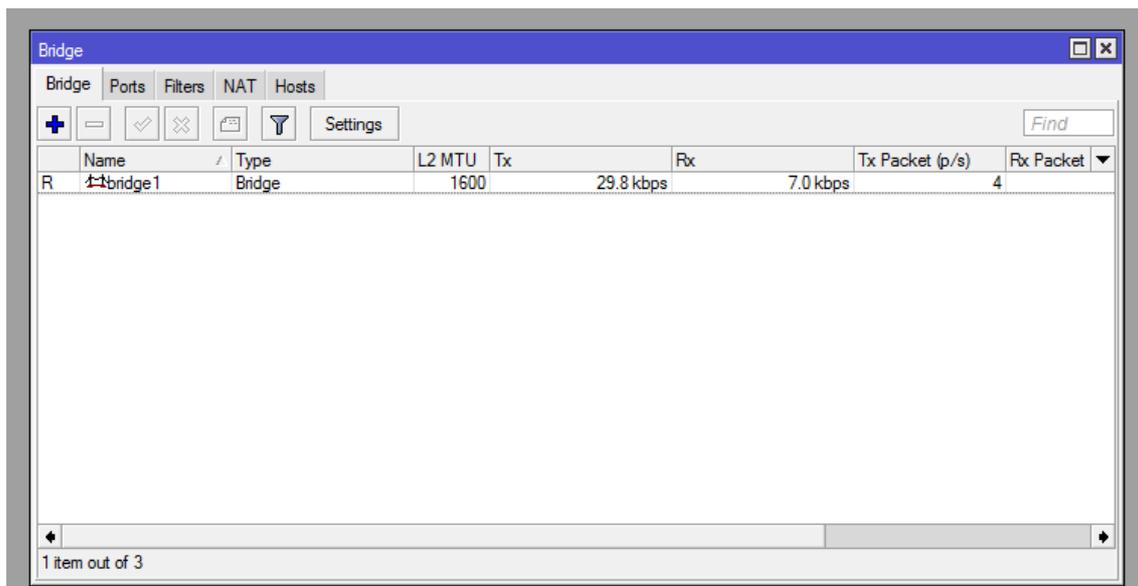
Haremos clic en bridge y después en el simbolito "+" de añadir como vemos en la imagen señalado con un flecha



Nos aparecerá el siguiente dialogo y damos clic en aceptar

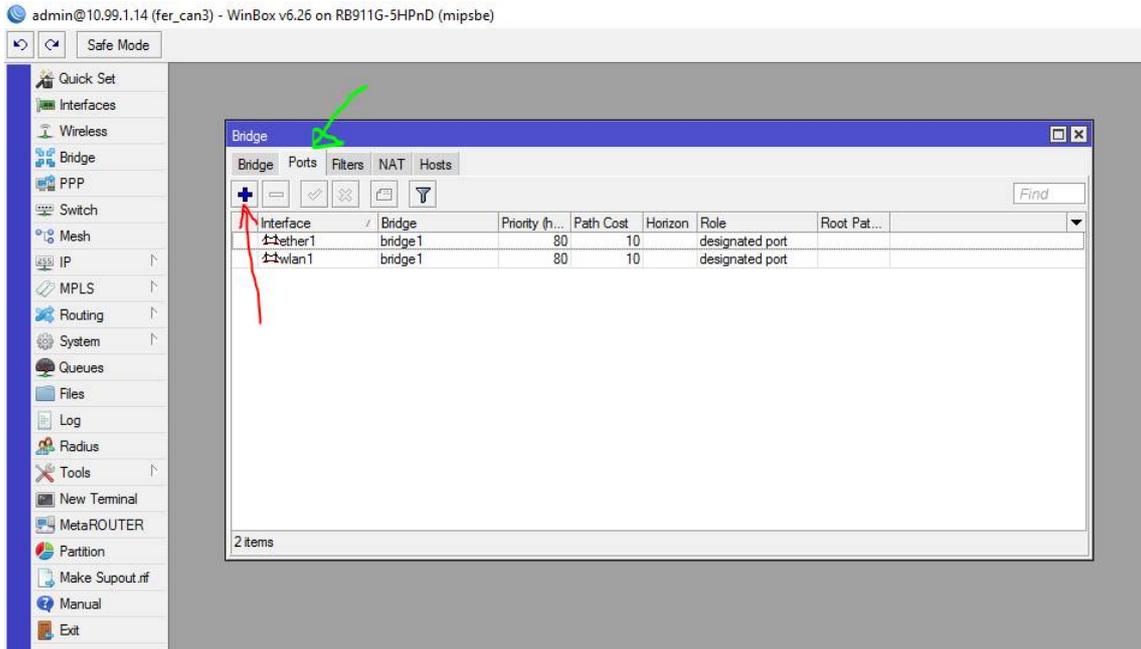


Nos debe de quedar tal que asi

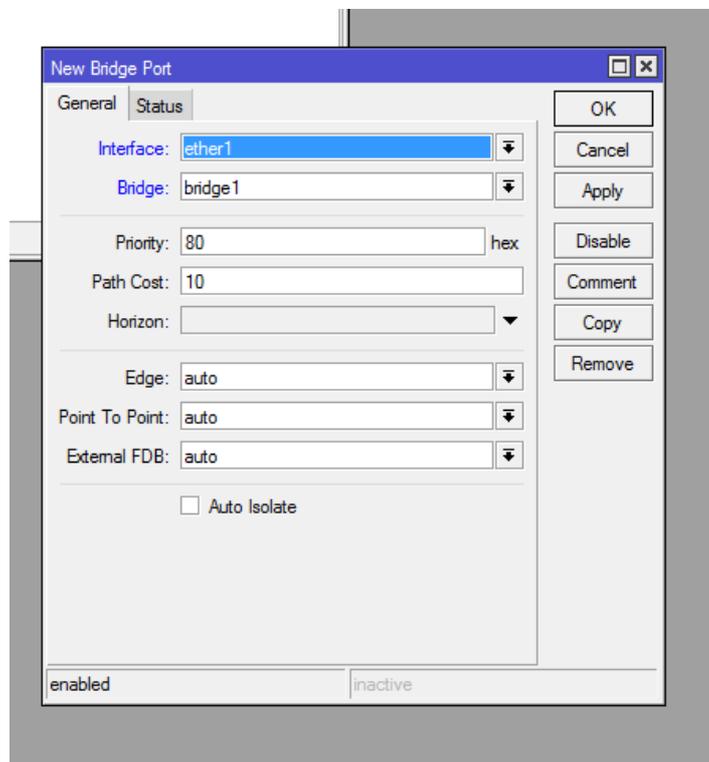


Añadir los puertos wlan y ether al bridge

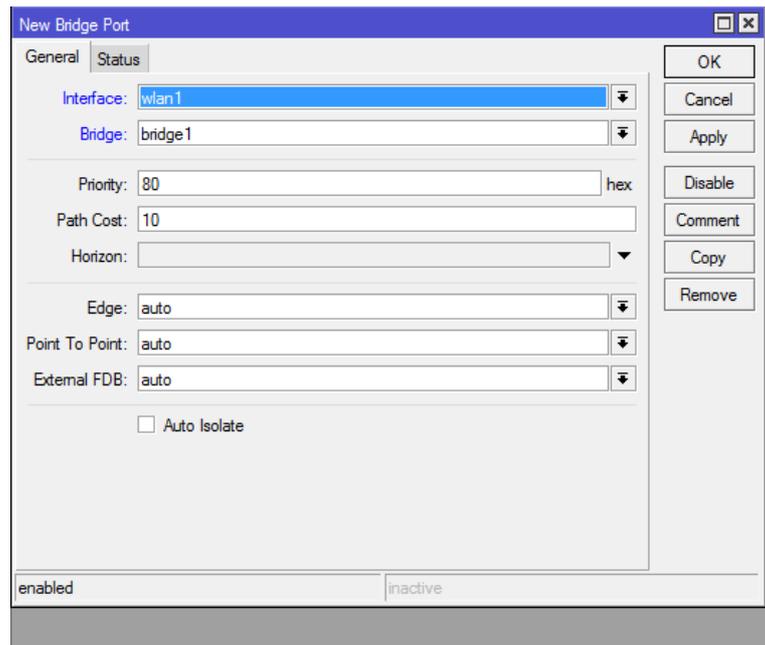
Ahora añadiremos los puertos Wlan y Ethernet al bridge para que exista la comunicación entre el Ethernet y la parte wlan, para ello dentro de la opción bridge conforme estábamos, tenemos una pestaña que poner ports.



Hacemos clic en añadir como antes y aparecerá el siguiente dialogo para el Ethernet y aceptamos en OK:

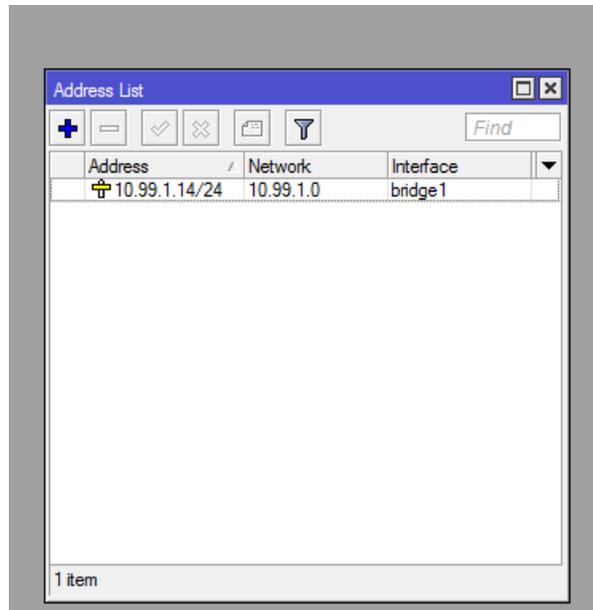


Hacemos clic en añadir como antes y aparecerá el siguiente dialogo para el WLAN y aceptamos en OK:



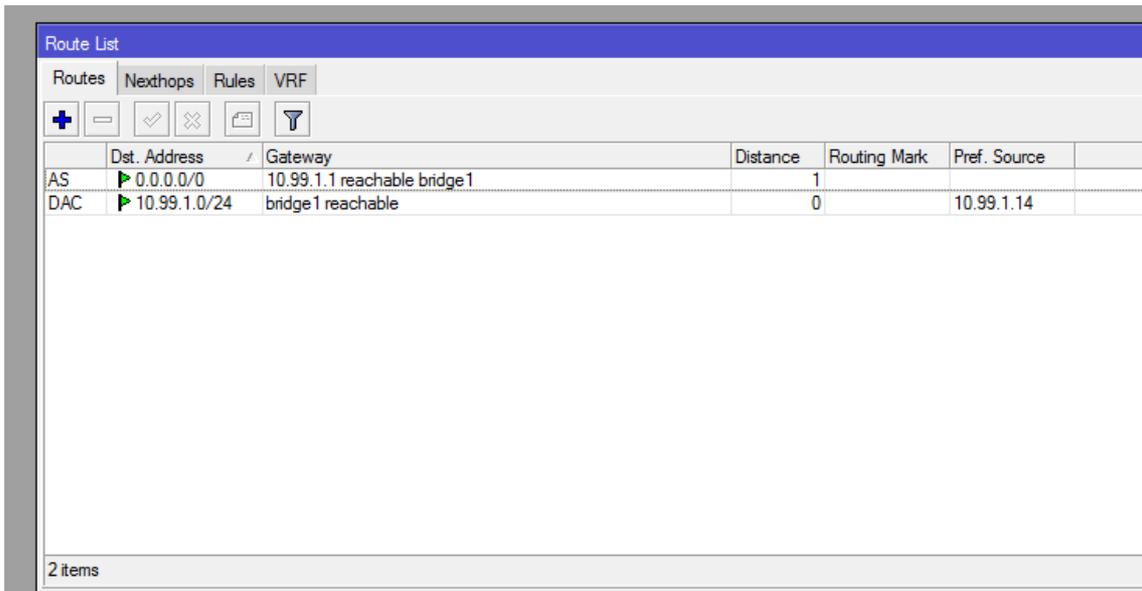
Configurar la dirección ip

En el menú de la izquierda IP -> addresses , asignaremos la ip de la antena como vemos en la imagen:



Configurar la ruta de vuelta

En el menú de la izquierda, IP -> routes asignármelos la puerta de enlace para que podamos acceder después a la antena, lo dejaremos así, cada antena debe llevar su ip individual y única.

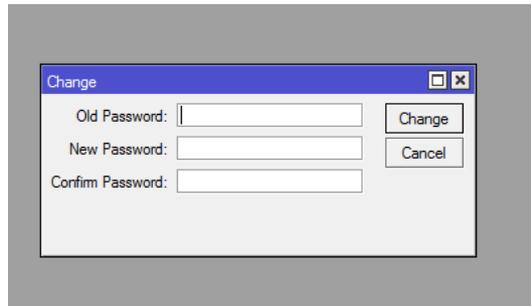


The screenshot shows a 'Route List' window with a table of routes. The table has columns for 'Dst. Address', 'Gateway', 'Distance', 'Routing Mark', and 'Pref. Source'. There are two entries: 'AS' with destination '0.0.0.0/0' and gateway '10.99.1.1 reachable bridge 1', and 'DAC' with destination '10.99.1.0/24' and gateway 'bridge1 reachable'. The 'Distance' for AS is 1 and for DAC is 0. The 'Pref. Source' for DAC is 10.99.1.14. The status bar at the bottom indicates '2 items'.

	Dst. Address	Gateway	Distance	Routing Mark	Pref. Source
AS	0.0.0.0/0	10.99.1.1 reachable bridge 1	1		
DAC	10.99.1.0/24	bridge1 reachable	0		10.99.1.14

Cambiar la contraseña

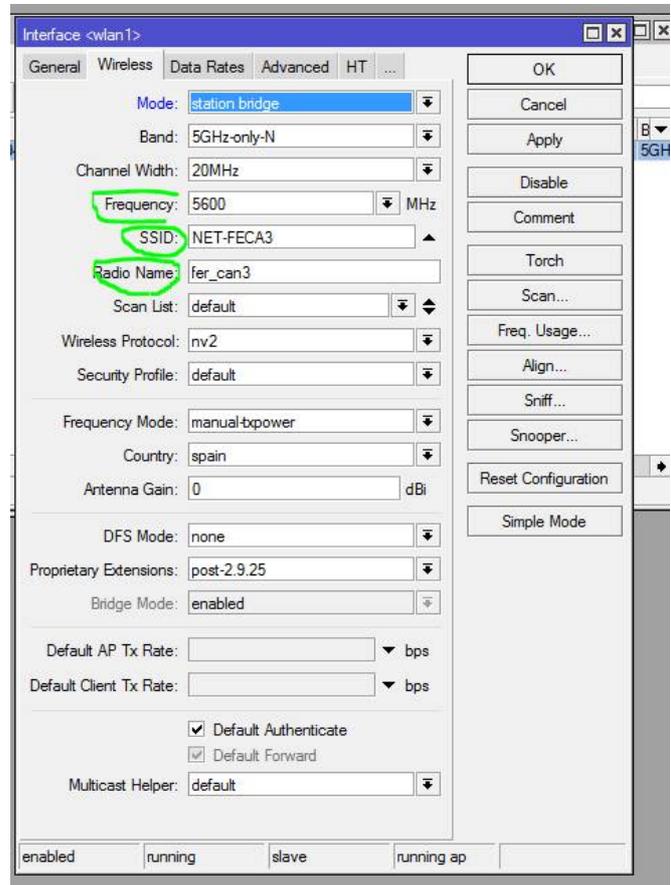
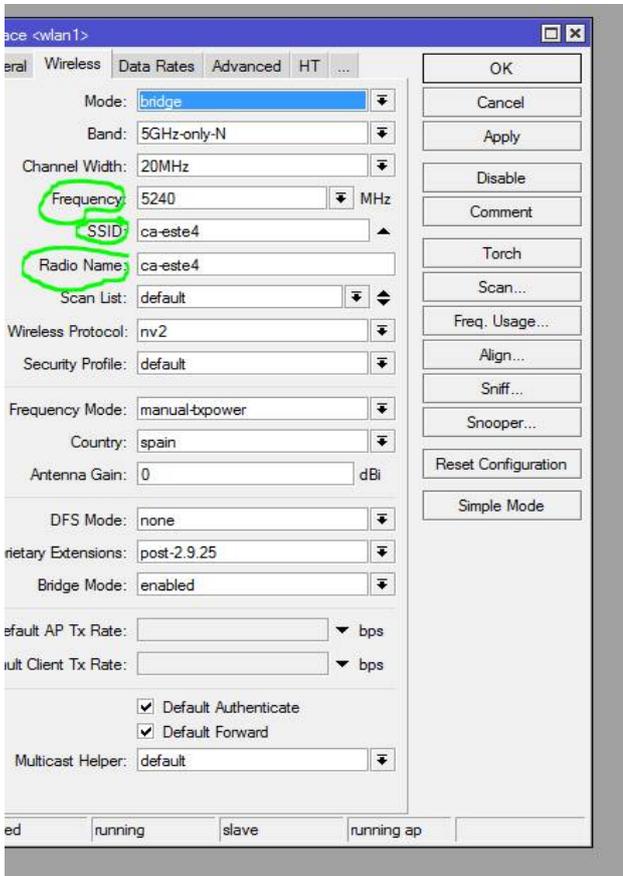
En el menú de la izquierda System -> password cambiaremos la clave de administración de la antena para no tener la configuración accesible.



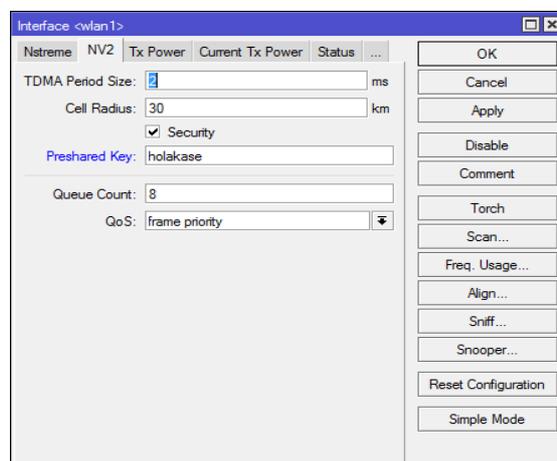
The screenshot shows a 'Change' dialog box with three input fields: 'Old Password:', 'New Password:', and 'Confirm Password:'. There are 'Change' and 'Cancel' buttons on the right side of the dialog.

Equipos punto a punto (emisora y receptora)

Con la configuración común arriba mencionada, solo tendremos que entrar en el menú de la izquierda a wireless y seleccionar el interfaz, los dejaremos como en la imagen, y modificaremos el valor de las variables en verde por las que vayamos a poner (imagen izquierda EMISORA, imagen derecha RECEPTORA) así como el modo



Debemos de asignar la clave de red en ambos equipos ya que si no se conectarán, y hacer especial énfasis en que los nombres de punto de acceso deben coincidir en el equipo receptor, sino tampoco se conectará. La clave la estableceremos dentro del menú de la izquierda Wireless -> seleccionamos el interface en este caso wlan1, y dentro de las pestañas buscamos NV2 y la dejaremos así:



Equipos emisores de cliente, tendrán la configuración común como ip, ruta, password , bridge etc, salvo en la parte del radio donde debe de quedar tal que así, en este caso actúa como punto de acceso, parámetros señalados son los que debemos cambiar , el resto dejarlo igual:

Interface <wlan1>

General Wireless Data Rates Advanced HT ...

Mode: ap bridge

Band: 5GHz-only-N

Channel Width: 20MHz

Frequency: 5600 MHz

SSID: NET-FECA3

Radio Name: fer_can3

Scan List: default

Wireless Protocol: nv2

Security Profile: default

Frequency Mode: manual-bpower

Country: spain

Antenna Gain: 0 dBi

DFS Mode: none

Proprietary Extensions: post-2.9.25

Bridge Mode: enabled

Default AP Tx Rate: [] bps

Default Client Tx Rate: [] bps

Default Authenticate

Default Forward

Multicast Helper: default

OK

Cancel

Apply

Disable

Comment

Torch

Scan...

Freq. Usage...

Align...

Sniff...

Snooper...

Reset Configuration

Simple Mode

enabled running slave running ap

Equipos cliente, tendrá la configuración común a todos los equipos de red, en este caso se conectara contra el equipo emisor, por lo tanto debe de configurarse con el mismo nombre de punto de acceso y la misma clave debe de quedar así, parámetros señalados son los que debemos de cambiar, el resto dejarlo igual:

