

**“Diseño de una red de sensores para el control  
de las plazas de aparcamiento en el casco  
antiguo de la ciudad de Cádiz”**

**Rubén Expósito Marín**

**E.T.T. Telemàtica**

**Consultor: José López Vicario**



## Índice:

<b>Apartado 1. Introducción .....</b>	<b>6</b>
<i>1.1 Descripción del proyecto – antecedentes.....</i>	<i>6</i>
<i>1.2 Objetivos del proyecto.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3 Estudio previo de viabilidad económica y técnica.....</i>	<i>9</i>
<i>1.4 Introducción a los apartados de la memoria.....</i>	<i>12</i>
<i>1.5 Planificación.....</i>	<i>14</i>
<b>Apartado 2. Análisis de las tecnologías a emplear.....</b>	<b>15</b>
<i>2.1 Tecnologías de red.....</i>	<i>15</i>
<b>Apartado 3. Diseño zonal.....</b>	<b>22</b>
<i>3.1 Distribución zonal de sensores y carteles.....</i>	<i>22</i>
<i>3.2 Definición del mapa de cobertura inalámbrica.....</i>	<i>28</i>
<b>Apartado 4. Diseño de la red de sensores.....</b>	<b>32</b>
<i>4.1 Diseño del módulo sensor.....</i>	<i>32</i>
<i>4.2 Análisis del sistema de información.....</i>	<i>38</i>
<i>4.3 Análisis de la integración con parkings.....</i>	<i>39</i>

<b>Apartado 5. Diseño del sistema de información.....</b>	<b>40</b>
<i>5.1 Diseño del módulo cartel digital.....</i>	<i>40</i>
<i>5.2 Análisis del software de comunicación.....</i>	<i>42</i>
<i>5.3 Diseño de las apps para smartphones.....</i>	<i>42</i>
<b>Apartado 6. Visión general del sistema.....</b>	<b>45</b>
<b>Apartado 7. Evaluación de las redes inalámbricas.....</b>	<b>46</b>
<i>7.1 Evaluación de la cobertura mediante Radio Mobile.....</i>	<i>46</i>
<i>7.2 Configuración de la simulación.....</i>	<i>46</i>
<b>Apartado 8. Presupuesto.....</b>	<b>57</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>60</b>
<b>Anexo I. Análisis de proveedores.....</b>	<b>61</b>
<i>I.1 Proveedores de servicios de instalación e Internet.....</i>	<i>61</i>
<i>I.2 Proveedores de material informático y de red.....</i>	<i>64</i>
<i>I.3 Proveedores de sistemas de cartelería digital.....</i>	<i>67</i>
<b>Anexo II. Normativa CNAF 2010.....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo III. Posible ampliación futura.....</b>	<b>69</b>



## **Apartado 1. Introducción**

### **1.1 Descripción del proyecto – antecedentes:**

La ciudad de Cádiz se encuentra situada en el extremo sud-occidental de Europa. Como resultado de su prolongada historia, cuenta con un casco antiguo amurallado que concentra los edificios históricos y los negocios más exitosos de la ciudad. La población de la ciudad asciende a 124.892 habitantes y la del casco antiguo a 39.801 habitantes (INE 2011). Además, se encuentra ubicada en el centro del Área metropolitana de la Bahía de Cádiz – Jerez, con una población total de 639.172 habitantes (INE 2010).

La economía de la ciudad se basa principalmente en el turismo y el comercio, siendo un importante puerto marítimo receptor de cruceros. Además, el casco histórico de la ciudad alberga edificios de la Administración, como la Diputación Provincial o el Ayuntamiento, que reciben numerosas visitas a lo largo del día. También se encuentran en esta zona de la ciudad las terminales de tren y autobús. Hay un importante flujo de visitantes que a diario acceden al casco antiguo de Cádiz para realizar compras, pasear o disfrutar de su amplia oferta de ocio.

El problema que se encuentran los visitantes cuando desean acceder a esta zona de la ciudad es el aparcamiento. Al tratarse de un trazado urbano diseñado principalmente en el siglo XVIII, las calles son muy estrechas y sin espacio para aparcar vehículos, con leves excepciones. La mayoría de las plazas de aparcamiento se encuentran situadas en las calles que rodean la península que conforma el casco antiguo, siguiendo el paseo marítimo. Esas calles dan acceso asimismo a cuatro bolsas de aparcamiento al aire libre, de las cuales sólo una es gratuita. Por último, hay numerosos parkings subterráneos con plazas de pago por hora. Hay numerosas plazas de aparcamiento de pago cuyo precio resultar ser excesivo para la mayoría de los visitantes, que pierden mucho tiempo buscando una plaza gratuita. Este factor disuade a la población del entorno (que como ya se ha mencionado multiplica por más de diez a la de esta zona de la ciudad) de acudir al casco antiguo de Cádiz para

realizar sus compras o disfrutar de su oferta de ocio, resultando en una pérdida de negocio en la zona y una mala imagen de la capital.

Este proyecto constituye una solución a este problema, proponiendo una mejora sustancial en la información que se le facilita al ciudadano acerca de las plazas de aparcamiento disponibles en el casco antiguo de Cádiz en cada instante. Así, con una información actualizada, el potencial visitante podrá tener una idea más precisa de la dificultad que se encontrará a la hora de buscar aparcamiento. El sistema deberá mostrarle al usuario el número estimado de plazas de aparcamiento gratuitas y de pago en cada zona del casco antiguo de Cádiz. Así, se evitará la pérdida de tiempo y dinero del usuario, ya que no tendrá que buscar sin éxito una plaza. La división en zonas se acordará con el Ayuntamiento en base a los parámetros que se convengan más apropiados.

## 1.2 Objetivos del proyecto:

El objetivo del proyecto, tal y como se ha introducido en la descripción, es crear un sistema de información al conductor que proporcione información actualizada sobre el número de plazas de aparcamiento gratuitas y de pago en el casco antiguo de la ciudad de Cádiz. Para ello, se dividirá el trazado urbano en distintas zonas y se instalará una red de sensores que contabilizarán los vehículos que entren y salgan de cada zona. Para ello será necesario instalar conexiones allí donde exista una infraestructura guiada de telecomunicaciones y enlaces inalámbricos allí donde no exista infraestructura cableada. En cada punto de división entre dos zonas se instalará el correspondiente sensor junto con el equipo informático necesario para procesar la información y enviarla al servidor central. Se deberá realizar una integración con los sistemas de contabilización ya existentes de parkings subterráneos, de modo que envíen sus datos también al servidor central mediante su infraestructura de red (que en caso de no existir se incluirá en el proyecto). Se contratará un servidor central que almacenará la información de cada zona y la servirá a las aplicaciones clientes.

Para mostrar esta información a los usuarios, se utilizarán dos sistemas: sistema de información in-situ mediante paneles de LEDs y aplicaciones para smartphones. Los paneles se situarán en las tres entradas al casco antiguo y en las divisiones entre zonas. Mostrarán el número de plazas públicas y de pago de la zona a la que dan acceso y de las colindantes, distinguiendo por colores e indicando mediante flechas. Las aplicaciones se desplegarán en los dos sistemas más extendidos: iPhone y Android. Podrá ser una aplicación única o formar parte de una aplicación más grande del Ayuntamiento o algún otro organismo. La aplicación le mostrará al usuario un mapa del casco antiguo dividido en zonas por colores, con el número de plazas libres impreso sobre cada zona. En el caso de ser plazas de pago se indicará el precio por hora.

### 1.3 Estudio previo de viabilidad económica y técnica

Es preciso investigar y tener presente el contexto económico-social en el que se va a proponer el proyecto. También es necesario conocer el estado de las infraestructuras y elementos necesarios para poder llevar a cabo el proyecto con un grado aceptable de garantías.

El proyecto busca esencialmente la financiación pública, aunque no se descarta una posible participación privada por parte de las empresas que se verán claramente beneficiadas por esta infraestructura: empresas de aparcamientos y comercios de los barrios atendidos.

El principal problema con el que se encuentra el proyecto de cara a su aprobación es el duro contexto económico internacional de crisis económica. Es por ello que será necesaria una importante tarea previa de concienciación y persuasión para que los responsables del Ayuntamiento de Cádiz y de las empresas beneficiadas por el contrato aprueben el anteproyecto. En este sentido, los responsables de comunicación o marketing de la compañía adjudicataria tendrán que incidir en el hecho de la concurrencia de varios hechos que resultan positivos para la aprobación del proyecto:

- ✦ En primer lugar, en el contexto económico-social deprimido que domina la zona es tremendamente necesario realizar estímulos de este tipo que ayuden a atraer la atención y los visitantes. Este proyecto se podría enmarcar en un programa de estímulo al turismo y el consumo en el área metropolitana. Incluso se podría plantear como un proyecto de innovación de cara a la propia Comunidad Autónoma de Andalucía, con el concurso de la Junta de Andalucía y otras administraciones como la Diputación de Cádiz. En este sentido, el contexto político (constituido recientemente el Parlamento de Andalucía tras las elecciones de Marzo de 2012) es altamente favorable, ya que el ejecutivo mixto socialdemócrata propone:

- Medidas de estímulo a la economía basándose en el conocimiento y las nuevas tecnologías: el proyecto tiene un claro componente de tecnología de vanguardia aplicada a la gestión del tráfico, de modo que podría fácilmente enmarcarse en cualquier programa o legislación que se presente en torno a este compromiso adquirido por el gobierno regional.
  - Medidas de apoyo y promoción del turismo: en este sentido, tanto el gobierno autonómico como el nacional desean impulsar claramente la industria turística. El sistema propuesto en este proyecto supone un salto cualitativo en la calidad percibida de la atención al visitante por parte de la ciudad.
- ✦ Por otra parte, y aprovechando que se cumplen 200 años de la Constitución Española de 1812 en Cádiz (“La Pepa”), se puede introducir este proyecto como parte de los concursantes en la sucesión de eventos e infraestructuras preparados para tal efecto. En este sentido, cabe resaltar la excepcional inversión realizada para la construcción de un segundo puente que conecte directamente el casco antiguo de Cádiz con la Bahía: el Puente de la Pepa. Se trata de una infraestructura prioritaria para la ciudad por su tradicional aislamiento debido a que sólo existen dos accesos a la misma: el istmo de Cortadura y el Puente de Carranza, ambos en el extremo sur de la ciudad. El puente, uno de los más altos de Europa para permitir el acceso de grandes barcos a los astilleros, tendrá en total tres carriles por sentido para el tráfico rodado y dos vías férreas para la circulación del tranvía. Se espera que una parte importante de los 72.000 vehículos que entran o salen a diario de la ciudad por los dos accesos existentes se derive hacia el nuevo puente. Teniendo en cuenta estos datos de densidad de tráfico e inversión y considerando que el fin principal de dicha infraestructura es dotar de un acceso más ágil al centro de la ciudad para hacerla más atractiva, se plantea el problema de dónde aparcar tal cantidad de vehículos, así como el previsible incremento de visitas derivado de la mejora en la infraestructura. Por el momento se ha creado un nuevo parking subterráneo cercano a la desembocadura del puente y a la estación intermodal, pero resulta una medida claramente

insuficiente para afrontar el problema de la falta de aparcamientos. En un caso extremo la situación podría complicarse de tal modo que el nuevo puente supusiera un empeoramiento del acceso a la ciudad, debido a los embotellamientos. Con este proyecto se pretende solucionar ese problema o ayudar a paliarlo, ya que se ofrece información en tiempo real a los visitantes para que sepan con mucha anterioridad qué situación se van a encontrar para aparcar al llegar a la ciudad. Se ofrece así un complemento a la infraestructura que permite su puesta en valor, potenciando la imagen turística de Cádiz y de su comercio.



Fig. 1 Diseño del futuro puente de “La Pepa”.



Fig. 2 En línea azul, trazado del puente de “La Pepa”.

## 1.4 Introducción a los apartados de la memoria

### **Análisis de las tecnologías a emplear**

Se realiza un análisis de la tecnología a emplear para los enlaces tanto en la red de sensores como en el sistema de información. No se descarta de antemano ninguna tecnología ya que, según el caso, pueden ser más apropiadas las redes cableadas o alguna de las distintas opciones inalámbricas.

### **Análisis de proveedores**

Tras un proceso de búsqueda de proveedores para el material y los servicios de mano de obra necesarios, se procede a una selección de los mejores en base a los parámetros establecidos (preferencia por los más baratos, por lo que tengan un mejor portfolio, etc.).

### **Diseño de la red de sensores**

En primer lugar se propone una división en zonas de la ciudad, de modo que se establezcan contadores de paso en las divisiones entre zonas para mostrar los aparcamientos disponibles. Además se presenta el diseño del módulo sensor, es decir, el equipo encargado de contabilizar los vehículos que entran y salen por la frontera zonal en la que está ubicado.

Se incluye un análisis inicial del sistema de información necesario para almacenar y actualizar la información sobre vehículos en cada zona, así como en los parkings privados que ya tienen sus propios sistemas de contabilización de vehículos y plazas libres.

## **Diseño del sistema de información**

El sistema de información se compone de los módulos de cartelería digital y del software necesario para extraer los datos generados por la red de sensores. En el módulo cartel digital se incluye el hardware de red necesario junto con su conexionado con la pantalla digital que muestra la información a los conductores.

## **Evaluación de la red de sensores**

Se realiza un estudio teórico de la cobertura de la solución adoptada para el conexionado de la red de sensores. Este estudio se lleva a cabo mediante el software Radio Mobile, muy utilizado en el diseño de radio enlaces.



## Apartado 2. Análisis de las tecnologías a emplear

### 2.1 Tecnologías de red

En el mercado hay actualmente una tendencia a sustituir todos los sistemas de comunicación cableados por equipos inalámbricos, pero aún así incluiremos en la comparativa los últimos por tratarse de una instalación especial.

#### ✦ Conexión mediante cable – Ethernet (802.3):

La tecnología Ethernet se encuentra en un nivel alto de desarrollo, ofreciendo velocidades que incluso superan desde hace años a las que las operadoras de telecomunicaciones pueden ofrecer. Su uso se asocia generalmente a redes de área local (LAN), aunque también es posible su instalación al aire libre mediante el uso de cable UTP-5 para exteriores. En su versión Gigabit Ethernet (802.3ab y 802.3z) ofrece velocidades de hasta 1 gigabit por segundo. Evidentemente, sería suficiente con emplear la versión inferior Fast Ethernet, con 100 Mbps.

Esta tecnología debe sin embargo descartarse para este proyecto, al tratarse de un medio de transmisión extremadamente expuesto al vandalismo. En caso de usarse, deberían realizarse obras en el pavimento con el fin de enterrar el cableado, algo que provocaría molestias a los habitantes de zonas cercanas y aumentaría considerablemente el coste de la instalación de cada sensor.

### ✦ Conexión inalámbrica:

- IEEE 802.11

Esta tecnología, también denominada Wifi, es la más extendida hoy en día en las redes de área local (WLAN). Esto supone una gran ventaja, ya que el equipamiento necesario es producido en masa y con ello su coste se reduce considerablemente.

El estándar 802.11 define las capas física y de enlace de datos de la torre de protocolos OSI. Esta tecnología tiene su origen en la liberación en 1985 del espectro ISM (Industrial Scientific Medical), antes reservado, para su uso sin licencia. Con ello, en 1991 se hicieron los primeros experimentos en Holanda con gran éxito, dando lugar a una adopción y estandarización por parte del IEEE. En 1999 se creó la marca Wi-Fi, bajo la cual esta tecnología es reconocida desde entonces.

Hay muchas versiones del estándar, de entre las cuales las más extendidas son:

- 802.11a: opera en la banda de 5GHz, utiliza 52 subportadoras OFDM y ofrece una velocidad de 54Mbps. Al usar la banda de 5GHz tiene menos interferencias que 802.11b, ya que muchos aparatos usan la misma banda (hornos microondas, teléfonos inalámbricos, etc). Por otra parte, al trabajar a mayor frecuencia también la señal sufre más atenuación al alejarse del foco y obliga a que haya una visión directa entre el AP y el terminal. Esto, que podría ser un inconveniente, en nuestro caso es una ventaja, ya que es conveniente proteger la comunicación de posibles interferencias externas muy habituales en zonas densamente pobladas y con vehículos circulando cerca. Por otro lado, el hecho de la visión directa entre AP y módulo de sensores no será un problema, ya que estarán cercanos.

- 802.11b: tiene una velocidad de transmisión máxima de 11 Mbps y trabaja en la banda 2,4 GHz. Su velocidad real es de unos 5,9 Mbps en TCP y 7,1 Mbps en UDP, ya que emplea el mecanismo de acceso al medio CDMA/CA que le roba parte de la capacidad. Es incompatible con 802.11a, aunque los equipos suelen incluir las dos tecnologías.
- 802.11g: como en la versión b, trabaja en la banda 2,4 Ghz, aunque ofreciendo velocidades teóricas de 54 Mbps (real de 22 Mbps). Es compatible con 802.11b, aunque la presencia de nodos b produce una disminución de la velocidad en el resto de nodos de la WLAN.
- 802.11n: trabaja simultáneamente en la banda 5 Ghz y en la banda 2,4 Ghz. Esto le permite ser retrocompatible con todas las versiones anteriores y, además, aprovechar la poca congestión de la banda de 5 Ghz. Ofrece una velocidad teórica de hasta 600 Mbps (real de 300 Mbps).
- **IEEE 802.16**

El protocolo 802.16 se corresponde con la tecnología comúnmente conocida como WiMAX. Es una tecnología de bucle de abonado que permite la recepción de datos por microondas. Se ha hecho popular por proveer de acceso a Internet a las zonas rurales más apartadas gracias a su gran alcance. Los equipos estandarizados trabajan a las frecuencias 2,3 o 3,5 Ghz, aunque también hay equipos fijos que emplean la banda de los 5,4 Ghz, que obliga a que haya una visión directa entre estación base y receptor.

Actualmente existen dos variables:

- 802.16d: es para acceso fijo. Se alcanza una velocidad real de en torno a 20 Mbps con un radio de célula de hasta 6 Km. Esta velocidad se repartiría entre todos los usuarios dentro de la misma célula.
- 802.16e: es para movilidad completa. Permite al usuario desplazarse y tiene un funcionamiento similar a UMTS su sucesora LTE, con las que se encuentra en competencia por cuota de mercado.

- **Internet móvil GPRS:**

El servicio general de paquetes vía radio es una tecnología con cierta antigüedad pero aún muy presente en las comunicaciones hoy en día. Es no orientada a conexión (por paquetes) que se añadió a GSM para permitir tráfico de datos. Se trata de un servicio best-effort, es decir, que aprovecha las ranuras que deja libres la comunicación por voz. Permite velocidades entre 56 y 144 kbps.

- **Zigbee (basado en IEEE 802.15.4):**

La especificación Zigbee es un conjunto de protocolos de alto nivel para comunicaciones inalámbricas de bajo consumo basado en el estándar IEEE 802.15.4 que define las redes WPAN (wireless personal area network). Ha experimentado un gran auge gracias a la incipiente aparición del Internet de las Cosas, ya que su muy bajo consumo y capacidad son perfectos para las comunicaciones inalámbricas en una red de sensores. Además, los módulos Zigbee son baratos y fáciles de fabricar y su topología en malla facilita la escalabilidad.

Zigbee se enmarca dentro de las tecnologías WPAN del estándar 802.15, que además de Zigbee trata el protocolo Bluetooth y especificaciones de protocolos para domótica, teléfonos, PDAs, etc. Como se ha mencionado, el estándar concreto sobre el que se basa Zigbee es el 802.15.4, que define el nivel físico y el control de acceso al medio en las WPAN con bajas tasas de transmisión de datos (LR-WPAN). Zigbee ofrece una solución completa cubriendo el resto de niveles de la pila de protocolos que 802.15.4 no cubre.

Zigbee opera en la banda de 2,4 GHz (banda ISM) y un módulo sólo necesita el 2-10% del hardware y el 50% del software que requiere un módulo Bluetooth. Eso sí, la velocidad de transmisión que ofrece es de hasta 250 Kbps, mientras que Bluetooth puede llegar a los 3 Mbps. Por otra parte, un módulo Zigbee consume 30mA transmitiendo y 3 uA en reposo, mientras que Bluetooth emplea 40mA transmitiendo y 0,2 mA en reposo. El alcance de un módulo Zigbee suele estar entre 30m en interiores y 90 metros en exteriores. Esto hace que Bluetooth sea más apropiado para telefonía móvil y pequeños accesorios (manos libres, etc) mientras que Zigbee es más empleado en domótica (muchos sensores dispersos con difícil acceso al suministro eléctrico, pequeño tamaño y pocos datos que transmitir).

**ELECCIÓN:**

En un entorno urbano con una red de telecomunicaciones densa y ramificada 802.11 (Wi-Fi) será la tecnología más conveniente para emplear en la conexión de los módulos sensores con la red, que a su vez los conectará con el servidor central. Hay que tener en cuenta que todos estos módulos estarán situados en calles muy transitadas a lo largo del paseo marítimo, siempre con edificios cercanos con instalaciones de telecomunicación. En cuanto al suministro de los equipos no tendremos una opción mejor, ya que son baratos por su fabricación en masa. Asimismo, dado que son muy pocos los datos a transmitir, no tendremos problemas con la velocidad de la conexión, de modo que podremos usar equipos 802.11b/g que son más baratos que los 802.11n.

Hay sin embargo algunos casos especiales donde los sensores o los paneles están instalados en glorietas o en accesos a la ciudad ajardinados o incluso amurallados. En estos entornos es muy poco probable que exista alguna infraestructura de telecomunicaciones instalada previamente, por lo que será más recomendable el empleo de la tecnología móvil GPRS o el WiMAX. El empleo de WiMAX en este caso es poco apropiado debido al alto precio de la estación suscriptora y del servicio ofrecido por Iberbanda (única compañía que ofrece esta tecnología en la zona). Además, se usaría la banda libre a 5,4 Ghz (la empleada por Iberbanda) y no es seguro que se pueda conseguir una visión directa con la estación base (situada en Jerez de la Frontera) debido al amurallado de la ciudad. De este modo, la opción más acertada resulta ser la de GPRS, ya que la cobertura GSM en la zona es excelente y es una tecnología barata tanto en equipos como en tarifa de servicios. Se empleará GPRS y no UMTS debido a que los circuitos de comunicación disponibles en el mercado que se emplearán para los sensores no han adoptado aún ésta última. Esto se hará en casos muy específicos, de modo que siempre que sea posible se usará la tecnología 802.11 por simplicidad y escalabilidad.

También se ha tenido en cuenta la tecnología Zigbee, muy utilizada en redes de sensores actualmente. Sin embargo, debe descartarse para este caso, ya que la tecnología Zigbee está orientada a cubrir grandes cantidades de sensores cercanos, mientras que en el sistema que se plantea hay pocos módulos sensores alejados entre sí y lo que prima es la fiabilidad, la sencillez y

el bajo coste de la transmisión. En este sentido Zigbee podría facilitar la conexión de los módulos sensores cercanos (por ejemplo los que controlen ambos sentidos de un mismo paso) al router que les da acceso a Internet, pero parece más sensato (por económico y sencillo) incorporar tecnología Wifi a los módulos para que se comuniquen directamente con el router. En caso de emplear módulos Zigbee, sería necesario incorporar un ZED (Zigbee End Device) en cada módulo sensor y luego un ZR (Zigbee Router) y un ZC (Zigbee Coordinator) en el módulo del router para darle acceso a Internet.

Sí que se plantea el uso de la tecnología Zigbee en la posible ampliación del sistema (ver Anexo III), ya que en ese caso sí se necesitaría colocar multitud de sensores cercanos a lo largo de todas las calles de la ciudad. En ese caso, se debería colocar un ZED por cada plaza de aparcamiento y un ZR cada 30-50 metros con el fin de cubrir todas las plazas de aparcamiento en la calle.

## Apartado 3. Diseño zonal

### 3.1 Distribución zonal de sensores y carteles

Cada grupo sensor-panel se ocupará de contabilizar los vehículos que entran o salen en su zona. La ciudad se dividirá en un número de zonas según la disposición del viario urbano y los aparcamientos públicos y privados.

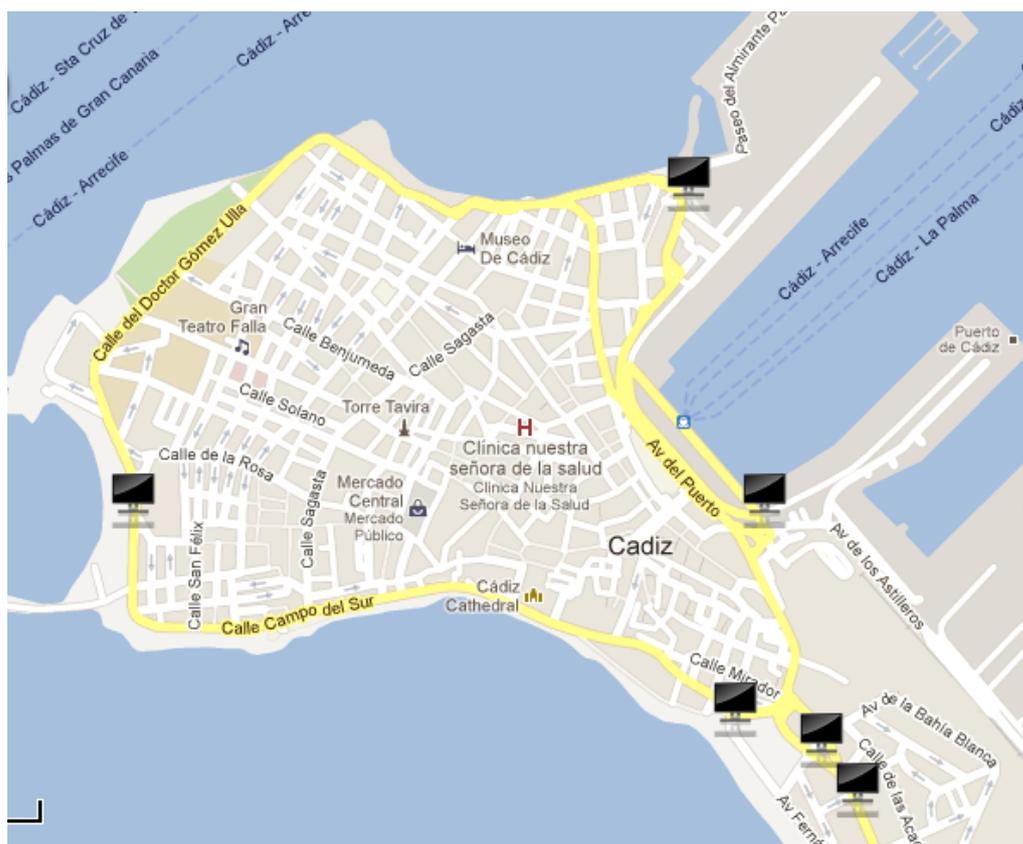
En primer lugar, estudiaremos el mapa de la zona a cubrir de forma teórica con el fin de situar correctamente los módulos:



En el mapa se observan las líneas celestes que marcan el recorrido en el que se instalará el sistema, mientras que las zonas marcadas en azul marino determinan los parkings privados.

En la disposición tanto de los sensores como de los paneles informativos se tendrá en cuenta la distribución de las plazas de aparcamiento públicas y privadas y el sentido de las calles que les dan acceso. Se procederá a realizar una división que permita una armonización del tráfico en la ciudad de manera efectiva, de modo que el sistema sea realmente útil para la ciudad y no un mero atractivo tecnológico.

De los tres accesos a la ciudad, el más importante y el que concentra la mayoría del tráfico es el central. Es por ello que en este tramo se situarán dos módulos informativos, en semáforos consecutivos. La instalación se realizará en aquellos lugares licenciados por la Consejería de Urbanismo , siempre intentando que el panel sea visible desde los vehículos parados en los semáforos. En el siguiente mapa se pueden apreciar estos emplazamientos:



Con esta disposición de los paneles nos queda una distribución zonal que divide la ciudad en cuatro sectores diferenciados:

- Zona azul: Sector “Campo del Sur”.
- Zona verde: Sector de “Parque Genovés – Alameda”.
- Zona violeta: Sector “Zona Portuaria”.
- Zona roja: Sector de “La Punta”.



Con esta distribución, el sistema cumple su principal objetivo de guiar a los conductores hacia aquellas bolsas de aparcamiento con más posibilidades de encontrar una plaza. Se tienen en cuenta para ello tanto las plazas dispuestas a lo largo de las calles, como las bolsas de aparcamiento público y los parkings privados.

En cuanto a la distribución de los sensores para hacer posible este esquema zonal, se tendrá en consideración que el tráfico entre una zona y otra se va a desarrollar en más de un 95% a través de las calles del litoral. Debido a la peculiar geografía de la ciudad y a que el centro está ampliamente peatonalizado y con muy pocas plazas de aparcamiento, la mayoría de vehículos que se introducen en el casco urbano lo hacen para acceder a una cochera y no para cruzar al otro extremo de la ciudad, por lo que se puede despreciar la posibilidad de que un vehículo cruce de una zona a otra por las calles del centro. Esta suposición introducirá un pequeño aumento en el margen de error del sistema, pero permitirá un ahorro mayúsculo, ya que en caso contrario habría que situar un módulo sensor (con las plataformas de comunicación necesarias) en cada cruce de calles que separe dos zonas por el interior de la ciudad.

Por tanto, la distribución de los módulos sensores para posibilitar un correcto funcionamiento del sistema dentro de los márgenes establecidos de calidad puede definirse en las siguientes localizaciones:



Localización 1:



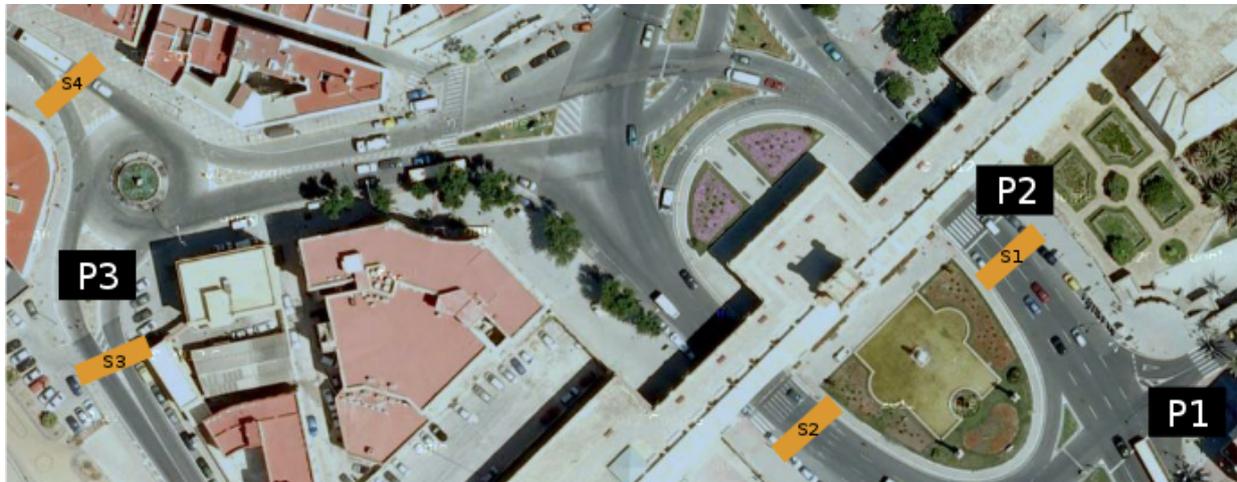
\*Un sensor y un panel por cada sentido de la circulación.

Localización 2:



\*Un sensor por cada sentido de la circulación. Un panel sólo para los vehículos que entran.

## Localización 3:



\*Los sensores S1 y S2 son triples, un sensor por carril (son vías de tres carriles). El sensor S4 tiene un detector por cada sentido de la circulación, al igual que el sensor S3. Se sitúan los paneles P1 y P2 en los dos semáforos anteriores a la bifurcación, de modo que sean visibles para el máximo número de conductores. El panel P3 informará a aquellos conductores que entren por el acceso lateral.

## Localización 4:



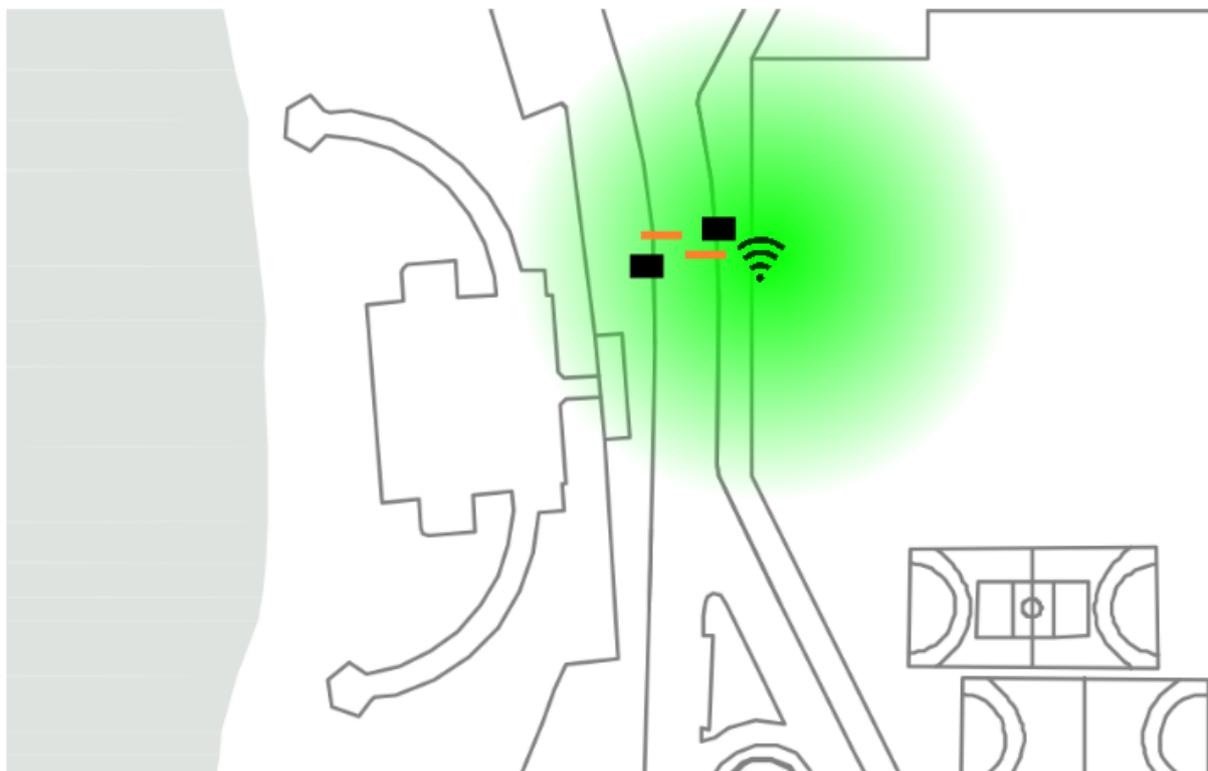
\*Los sensores S9 y S10 se encargan del control de entrada/salida de la zona violeta a la zona verde. El sensor S7 controla la entrada a la zona roja y los sensores S8 y S11 controlan la salida de ésta.

### 3.2 Definición del mapa de cobertura inalámbrica

Una vez delimitada la distribución de sensores y paneles, podemos analizar las necesidades de comunicación de estos elementos. Se plantea a continuación una propuesta de localización para todos los equipos de red, dejando su validación técnica para el apartado 6 (Evaluación de la cobertura mediante Radio Mobile). Utilizando la misma nomenclatura que en punto anterior:

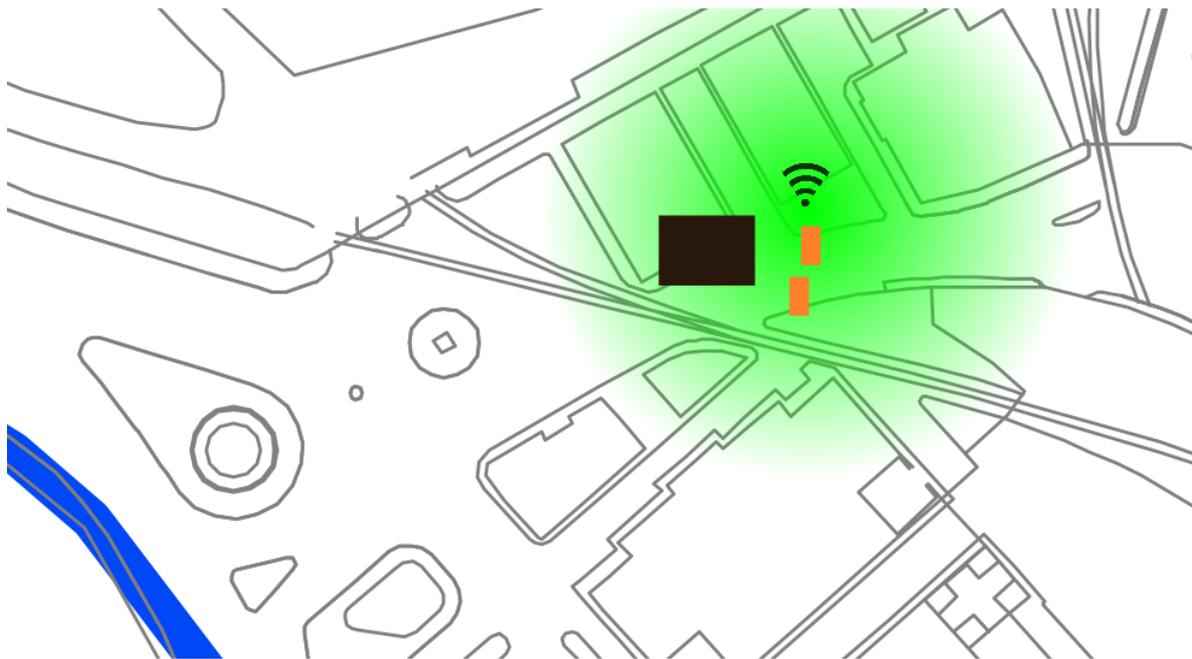
#### Localización 1

Los sensores S5 y S6 se instalarán a ambos lados de la calle utilizando como mástil los semáforos. Los paneles se instalarán sobre mástil vertical metálico a una altura adecuada para su lectura desde los vehículos. Al encontrarse tan cerca los dos sensores y los dos paneles, sólo será necesario un punto de acceso Wifi para darles cobertura inalámbrica. Se realizará el conexionado desde la arqueta de telecomunicaciones más próxima, situada cerca del sensor S6. La alimentación eléctrica del módulo (12V CC) se realizará mediante panel fotovoltaico y batería.



## Localización 2

Los sensores S12 y S13 se instalarán a ambos lados de la calle a una altura que dificulte el acceso por parte de los viandantes. Para ello, se solicitarán las licencias oportunas para la instalación de dos mástiles que soportarán los módulos. El panel se instalará sobre mástil vertical metálico a una altura adecuada para su lectura desde los vehículos. Al igual que en la localización 1, los elementos entran dentro del radio de alcance al aire libre de un sólo punto de acceso Wifi. Se realizará el conexionado del AP desde la arqueta de telecomunicaciones más próxima, situada cerca del sensor S12.



### Localización 3

Para los sensores S3 y S4 y para la pantalla P3, la mejor solución es instalar un AP Wifi en el edificio cercano a P3. El caso de los sensores S1 y S2, así como de las pantallas P1 y P2, es más complicado. Por un lado, se encuentran muy cercanos a la muralla y en zona ajardinada, de modo que no hay arquetas ni cajetines de redes de telecomunicación cercanos. Por otro lado, cada sensor debe controlar tres carriles, de modo que habrá que instalar tres módulos sensor por sentido. Se podrán instalar en el propio arco de la muralla o en algún tipo de arco metálico alternativo. Por otro lado, el intenso tráfico rodado en estos accesos provocará una atenuación significativa de la señal. Por todo ello, se considera que la mejor opción para el conexionado inalámbrico de estos elementos es el uso de un módulo GPRS (teniendo previamente en cuenta la buena calidad de la cobertura de los principales proveedores de servicios de telefonía móvil en la zona). La alimentación eléctrica de paneles y sensores se realizará mediante placas fotovoltaicas.



#### Localización 4

Para los sensores S7, S8, S9 y S10 y para la pantalla P6 tendremos suficiente con un punto de acceso Wifi, ya que la distancia entre los elementos más lejanos es de 38 metros, sin obstáculos y con tráfico ligero. Para el sensor S11, emplearemos mejor un enlace GPRS, ya que se encuentra demasiado alejado del AP 802.11 y además no hay instalaciones de telecomunicaciones de Telefónica ni de Ono cerca.



## **Apartado 4. Diseño de la red de sensores**

### **4.1 Diseño del módulo sensor**

Tras hacer una valoración de los distintos suministradores de detectores de presencia para vehículos (ver Anexo I) se ha llegado a la conclusión de que lo más apropiado es incluir en el proyecto el diseño y fabricación de los módulos sensores. Para ellos se empleará una placa Arduino, microcontrolador de software libre que permite programar sus entradas y salidas e incluir módulos extensores para añadirle capacidades que no tiene la placa base: comunicación inalámbrica, sensores, etc.

El modelo de Arduino escogido para el módulo sensor, por su acertada relación calidad/precio, es el Arduino UNO v3. También será necesario un módulo extra (denominado shield) para las comunicaciones Wifi y otro para los que empleen GPRS: Arduino Wifly Shield y Arduino Cellular Shield – SM5100B. Se empleará un sensor de movimiento PIR con 3 metros de distancia de detección (más que suficiente). Será necesario reservar una partida en el presupuesto para herramientas y materiales necesarios para el conexionado e instalación de estos elementos: caja hermética antivandálica, mástil metálico, cables, conectores, soldadores, polímetros, destornilladores, taladros, etc.

En cuanto a la alimentación eléctrica del circuito, la mejor opción es el empleo de un módulo de alimentación autónomo, compuesto por una batería de 12V y una placa solar fotovoltaica. Se conectará la batería a la entrada Vcc de la placa Arduino, que alimenta el resto de elementos conectados a ella.



\*Arduino UNO v3



\*Arduino Wifly Shield



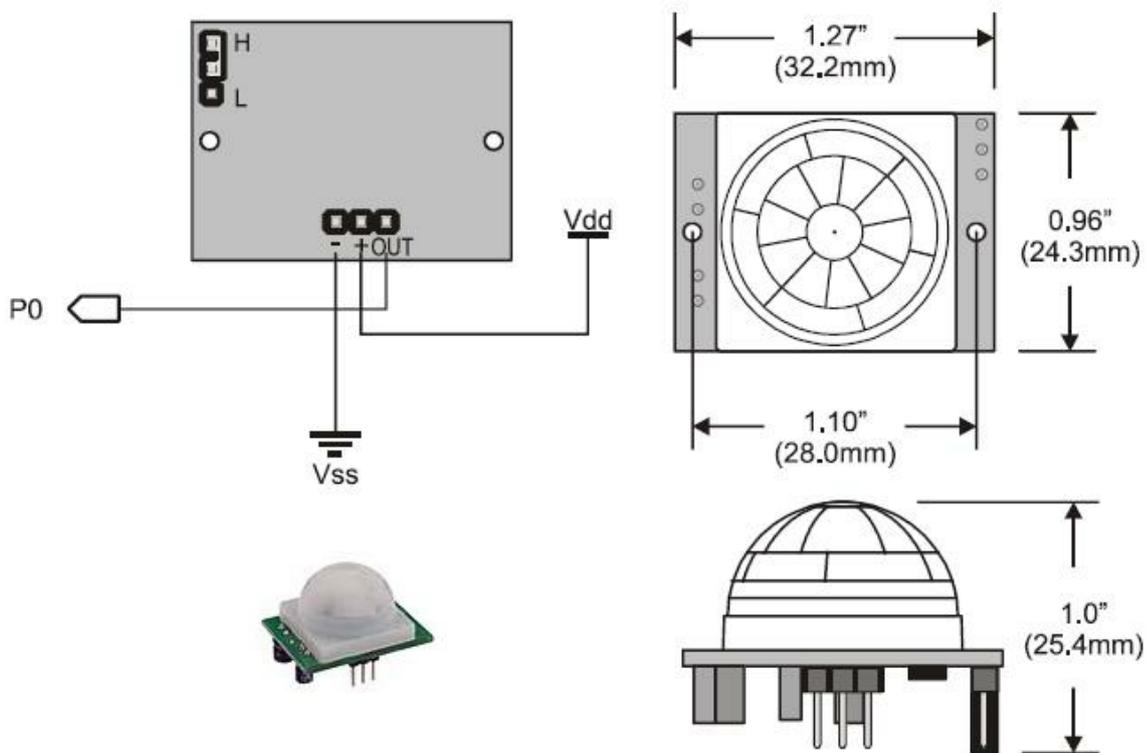
\* Arduino Cellular Shield – SM5100B



\*Detector de movimiento PIR

Una vez conectado el módulo Wifly o el módulo Celular a la placa Arduino, el resultado es el que se puede contemplar en las imágenes anteriores. Están diseñados de modo que se pueden conectar por presión, sin necesidad de soldaduras.

El sensor PIR de Parallax empleado como detector de presencia activa una señal digital en uno de sus pines cuando detecta presencia. El esquema proporcionado por el fabricante es el siguiente:

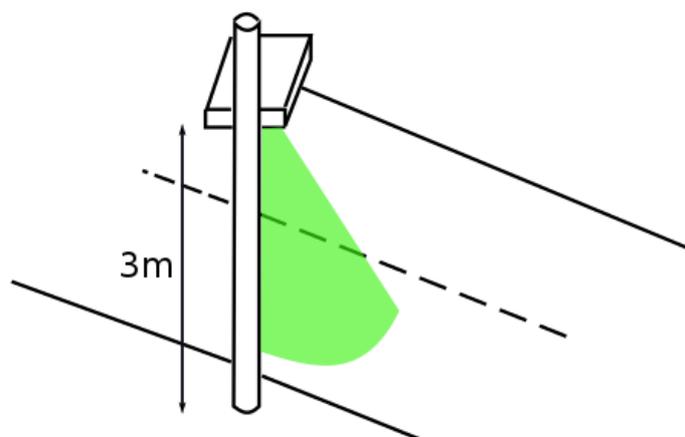


El sensor PIR (Passive Infra-Red) es un dispositivo piroeléctrico que detecta el movimiento dentro de su haz de alcance (6 metros aprox.) midiendo las variaciones en los niveles infrarrojo emitidos por los objetos cercanos.

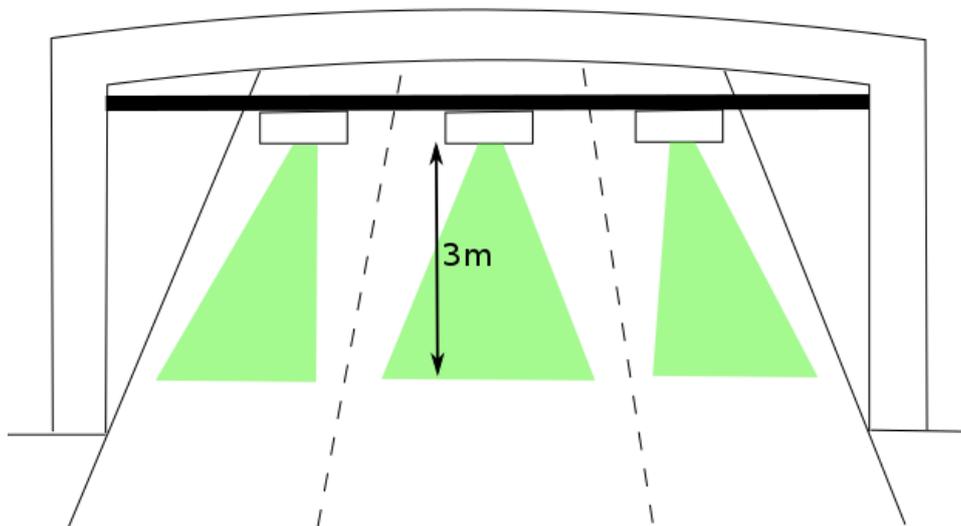
Tiene un jumper que nos permite seleccionar entre dos posiciones: H (high) o L (low). Si seleccionamos L, la señal se activa por nivel alto, es decir, permanece todo el tiempo a nivel bajo (low) y cuando detecta un movimiento genera impulsos continuos L->H. En modo H, la señal se mantiene a nivel alto H mientras detecta el objeto y cuando deja de detectarlo pasa a nivel bajo L. En nuestro se optará por dejar el jumper en la posición H para facilitar la tarea de programación posterior (en la que sólo importará que ambos sensores estén simultáneamente a nivel alto).

Se empleará un solo sensor de este tipo, de modo que cada vez que se detecte un objeto se validará como un vehículo detectado. Habrá que realizar los ajustes oportunos a pie de obra de modo que el sensor se dirija adecuadamente. Se añade un diodo LED al circuito con el fin de facilitar dichas pruebas. Tendremos dos tipos de módulos:

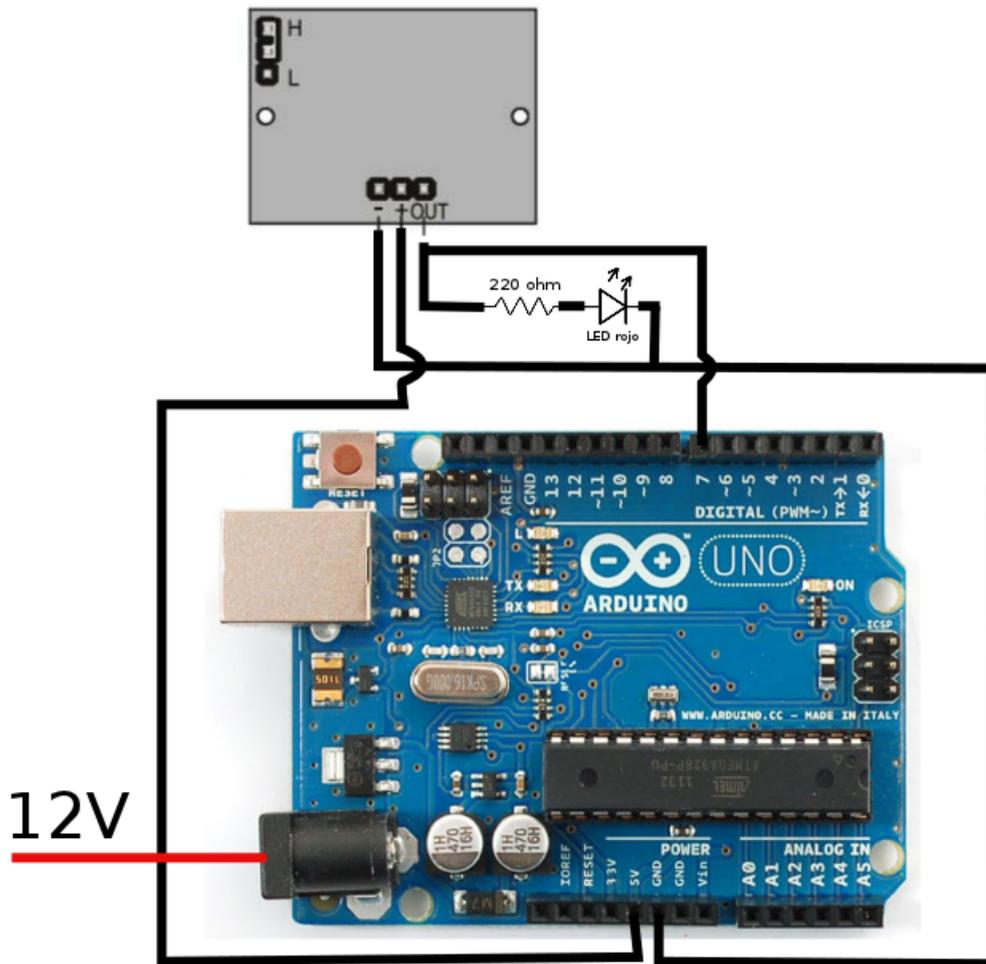
- **Vías de un solo carril:** el módulo irá instalado sobre un poste de modo que entre el sensor y la superficie de la calle haya una distancia de 3 metros. De este modo aplicamos un factor de 50% al alcance máximo del sensor (6 metros), suficiente para cubrir posibles márgenes de error y asegurar su correcto funcionamiento. Se deberá orientar adecuadamente el sensor PIR de modo que apunte a la zona central de la calzada sin llegar a detectar los vehículos del carril del sentido contrario.



- **Vías de varios carriles en túnel:** se colocará un raíl bajo el techado de la arcada del túnel para afectar lo mínimo a su estructura (la muralla es una edificación de gran valor histórico). Del raíl colgará un módulo sensor por carril, instalándose justo en el centro del mismo. En este caso el sensor de cada módulo apuntará hacia abajo y existirá una distancia de 3 metros entre el sensor y el firme.



El esquema del montaje sería el siguiente:



El módulo deberá tener una vez construido un aspecto similar al siguiente ejemplo de una señal luminosa de tráfico:



## 4.2 Análisis del sistema de información

El sistema de información empleado para la recogida de los datos de los sensores deberá contratarse con algún proveedor de hospedaje de calidad con el fin de evitar caídas prolongadas del servicio. Este sistema consistirá en una aplicación de servidor programada en lenguaje PHP y una base de datos MySQL para implementar el modelo de datos. Para la implementación de la aplicación de servidor, se seguirá la estructura MVC (Modelo, Vista, Controlador) para facilitar futuras ampliaciones y posibilitar una escalabilidad fluida del sistema.

La información se les suministrará a los paneles informativos, las apps y otros posibles clientes en forma de Web Service mediante la implementación de una API pública. De este modo, se permite el acceso de aplicaciones de terceros que quieran utilizar los datos sobre plazas públicas en otros proyectos. Se usará como modelo para dicha API pública la BART API (Bay Area Rapid Transit, consorcio de transportes de la Bahía de San Francisco, EEUU). Los Web Services ofrecidos a través de dicha plataforma serán tipo REST, ya que es el más ampliamente soportado y con más potencial hoy en día.

La base de datos deberá almacenar tanto el número de vehículos en cada zona como un histórico de vehículos/zona (tomando una muestra cada hora) con fines estadísticos. También almacenará las distintas zonas existentes, los módulos sensores y la asignación de módulos sensores a zonas. La aplicación PHP se encargará de comunicarse con los módulos sensores e ir sumando o restando vehículos en la zona correspondiente al sensor en la BD.

### 4.3 Análisis de la integración con parkings

En la ciudad existen ya numerosos parkings privados (bajo concesión del Ayuntamiento) que disponen de sistemas de control de acceso y contabilización propios. La integración con estos sistemas se realizará de forma pormenorizada, atendiendo a las características de cada sistema y ofreciendo la solución más apropiada. En casos de obstrucción por motivos de protección de patente o de ausencia de sistema de información se realizará una instalación ad hoc consistente en un módulo sensor por sentido de la marcha en cada barrera de acceso al parking.

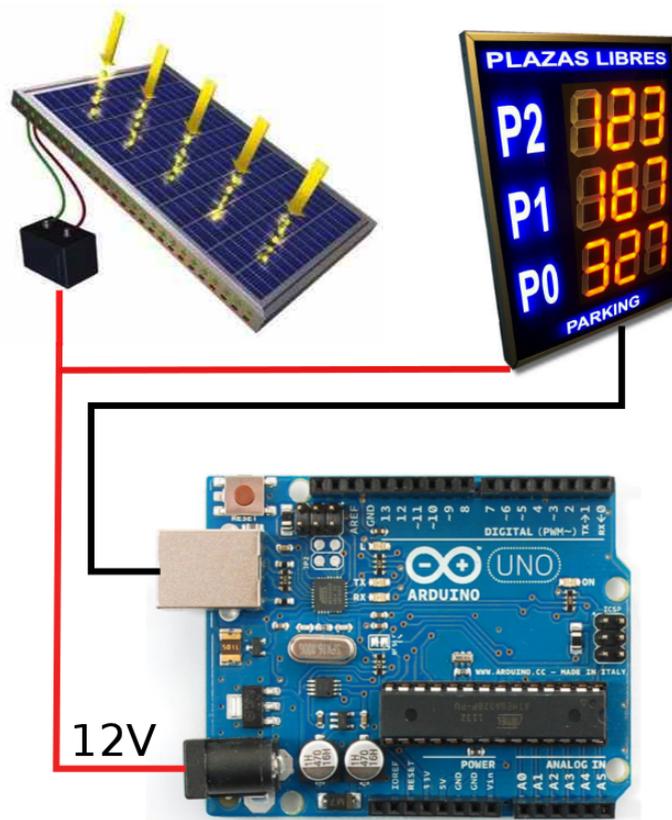
El análisis pormenorizado de dicha integración con parkings queda fuera del alcance del presente documento, siendo necesario la realización de un nuevo proyecto por cada integración/parking. Esto no representa ningún problema, ya que el sistema es escalable y puede absorber los nuevos datos de parkings privados conforme se vayan añadiendo una vez esté el sistema en funcionamiento.

## Apartado 5. Diseño del sistema de información

### 5.1 Diseño del módulo cartel digital

Además de los módulos autónomos instalados ex-profeso para este proyecto, se aprovecharán las pantallas LCD de cartelería digital de las que ya dispone la ciudad. La integración de este sistema con dichas pantallas será en la forma de una ventana intercalada entre la información que ya se ofrece a los visitantes (eventos, temperatura, publicidad, etc.).

El módulo de cartel digital se diseñará a partir de un módulo Arduino y un panel digital programable suministrado por la empresa [www.rotuloselectronicos.net](http://www.rotuloselectronicos.net). A través del puerto USB de la placa Arduino (Tx) se enviará la información pertinente al rótulo. La alimentación del rótulo será independiente de la de la placa Arduino, aunque suministrada por la misma batería.



En cuanto al número de rótulos por panel, dependerá del lugar en el que se ubique y las zonas de las que informar:

**P1:**

- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en todas las zonas.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en todas las zonas.

**P2:**

- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en las zonas verde y azul.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en las zonas violeta y roja.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en las zonas verde y azul.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en las zonas violeta y roja.

**P3:**

- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en las zonas verde y azul.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en las zonas violeta y roja.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en las zonas verde y azul.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en las zonas violeta y roja.

**P4:**

- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en la zona azul.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en la zona azul.

**P5:**

- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en la zona verde.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en la zona verde.

**P6:**

- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en la zona verde.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en la zona violeta.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en la zona roja.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en la zona verde.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en la zona violeta.

**P7:**

- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en la zona violeta.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en la calle en la zona roja.
- 1 rótulo informa sobre plazas libres en parkings privados en la zona violeta.

## 5.2 Análisis del software de comunicación

En el servidor central se dispondrán una serie de procedimientos que lancen periódicamente una actualización de los módulos de comunicación (por ejemplo, cada minuto). Los módulos se limitarán a mostrar por pantalla la cifra de plazas libres que les sea enviada.

## 5.3 Diseño de las apps para smartphones

En principio se plantea la posibilidad de desarrollar una app para iPhone/Android cuya única función sea informar sobre los aparcamientos disponibles en cada zona. Para ello, se alimentaría de la información que los sensores van poblando en la base de datos del sistema. Esta información se le suministrará a las apps en forma de Web Service mediante la implementación de una API pública. De este modo, se permite el acceso de aplicaciones de terceros que quieran utilizar los datos sobre plazas públicas en otros proyectos.

También sería posible integrar la funcionalidad de estas apps en la aplicación para smartphones de CadizBook.es, que depende del Ayuntamiento de Cádiz y se dedica a la promoción de la ciudad mediante una red social.

Las tecnologías a emplear serán Objective-C con entorno XCode para iPhone y Java con entorno Eclipse para Android. El código fuente de las apps se publicará bajo licencia GPL en el repositorio Github (github.com). También deberá hacerse uso de librerías REST open source específicas para la comunicación con el servidor. Existen versiones para iPhone (como RestKit: <http://restkit.org/>) y para Android (como Restlet: <http://www.restlet.org/>). Asimismo, será necesario emplear las librerías correspondientes de iOS y Android para el manejo de imágenes y scrolling (para el manejo del mapa) y para presentación de información (mediante labels).

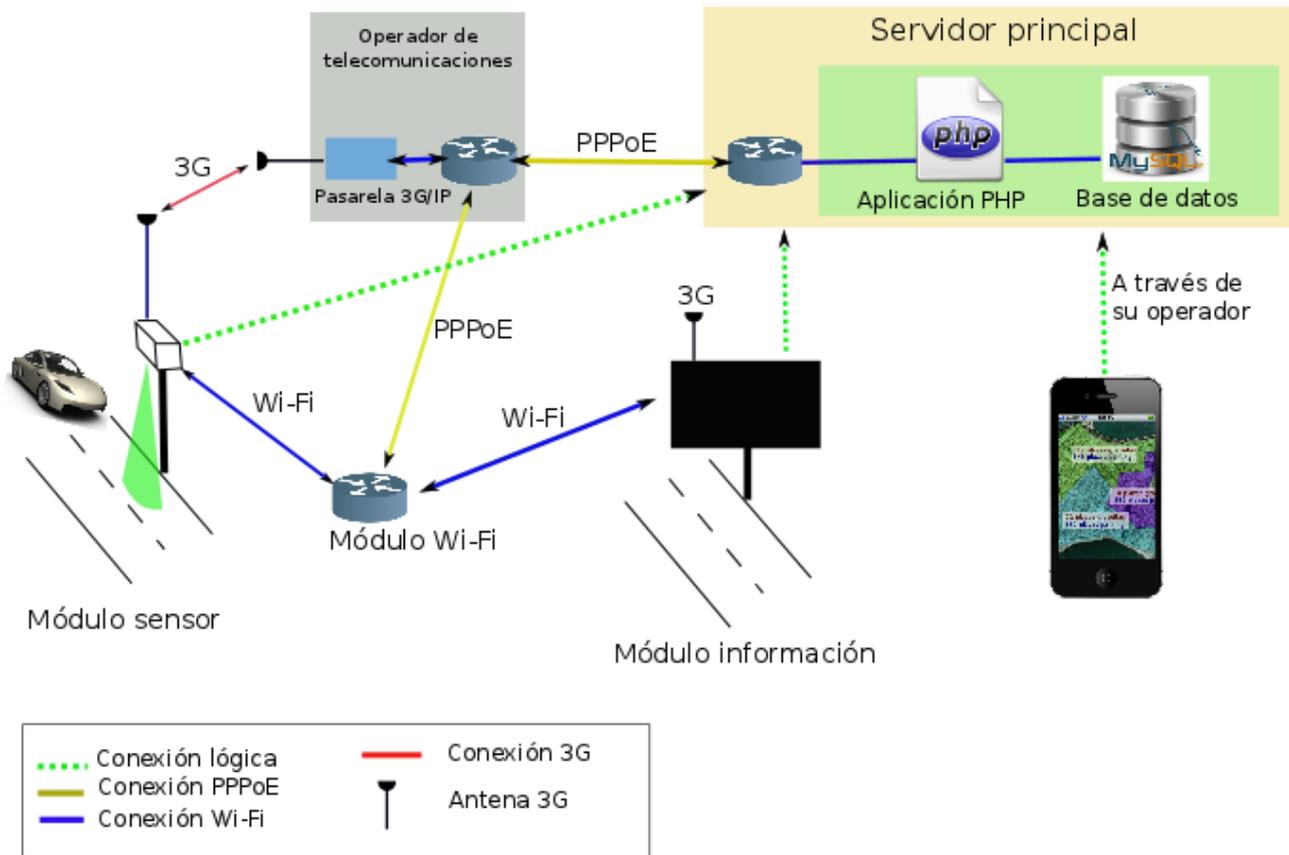
Las apps se limitarán a informar sobre un mapa de las plazas libres en cada zona, tanto de aparcamiento público como de parkings. Es decir, se mostrará la misma información que se muestra en los módulos de información. El diseño será minimalista y muy simple, de forma que sea lo más usable posible para un amplio abanico de usuarios. Al abrir la app y sin necesidad de interacción por parte del usuario se cargarán los datos mediante el Web Service y se mostrará el mapa dividido en zonas con un cartel en cada una de ellas donde se informará sobre las plazas libres y de pago. La única acción que se le permitirá al usuario será hacer scroll horizontal/vertical del mapa.

La app requerirá en primer lugar crear cuentas de desarrollador de Apple y Google, gestión que tiene una duración de 1 semana. Asimismo, hay que contar con el tiempo de validación por parte de Apple y Google, de 1 semana de media en el primer caso y 48 horas en el segundo. Estos tiempos se suman al de desarrollo, que será relativamente corto dada la sencillez del concepto de app que se pretende desarrollar.

Prototipo de la app (válido para iPhone y Android):



## Apartado 6. Visión general del sistema



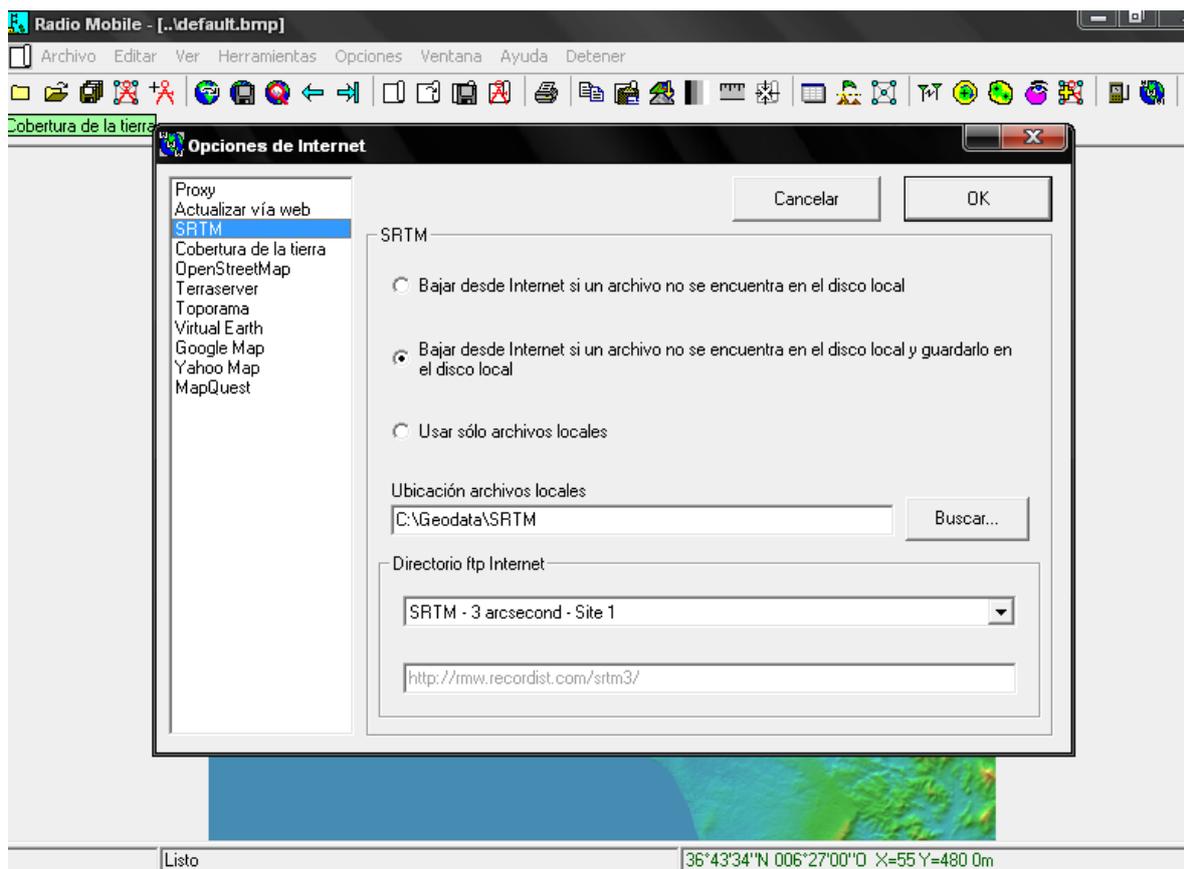
## **Apartado 7. Evaluación de las redes inalámbricas**

### **7.1 Evaluación de la cobertura mediante Radio Mobile**

Radio Mobile es un software gratuito desarrollado por Roger Coudé que se emplea para analizar y planificar radioenlaces y sistemas completos de comunicación. Para realizar una simulación se necesita la cartografía del territorio donde se realizará la simulación y un mapa de elevación del terreno. Radio Mobile emplea el algoritmo Longley-Rice para estimar la propagación de la onda, permitiendo trabajar en el rango de frecuencias 20MHz-40GHz y con longitudes de radioenlace de hasta 2000 km. Además de los mapas, se necesitará aportar información sobre los dispositivos y las antenas a emplear (ganancia, potencia, sensibilidad, etc.) para que Radio Mobile pueda hacer una simulación más realista.

### **7.2 Configuración de la simulación**

Se sigue el procedimiento descrito en la Web oficial de Radio Mobile ([www.cplus.org/rmw](http://www.cplus.org/rmw)) , creando las carpetas para el binario y los ficheros de datos e idiomas. Posteriormente se crea la estructura de directorios que solicita y se crea un acceso directo en el escritorio. Con Radio Mobile instalado, ya se puede comenzar a configurar. Lo primero será configurar en Opciones de Internet los repositorios de los que obtener los distintos mapas (SRTM, cobertura, etc.), de modo que Radio Mobile nos permitirá descargar únicamente la sección de mapa que nos haga falta.

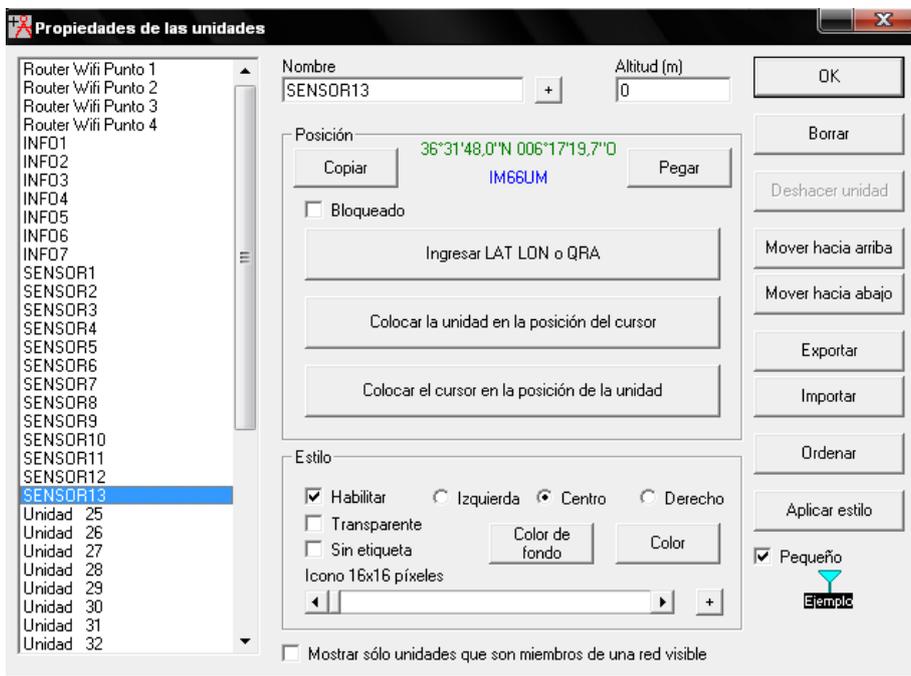


Con la configuración del programa realizada, podemos comenzar a configurar la simulación en sí. Para ello, lo primero es introducir los equipos que vamos a utilizar e indicar sus coordenadas y parámetros. En Propiedades de las Unidades se nos muestra una ventana en la que se pueden introducir todos estos datos por equipo.

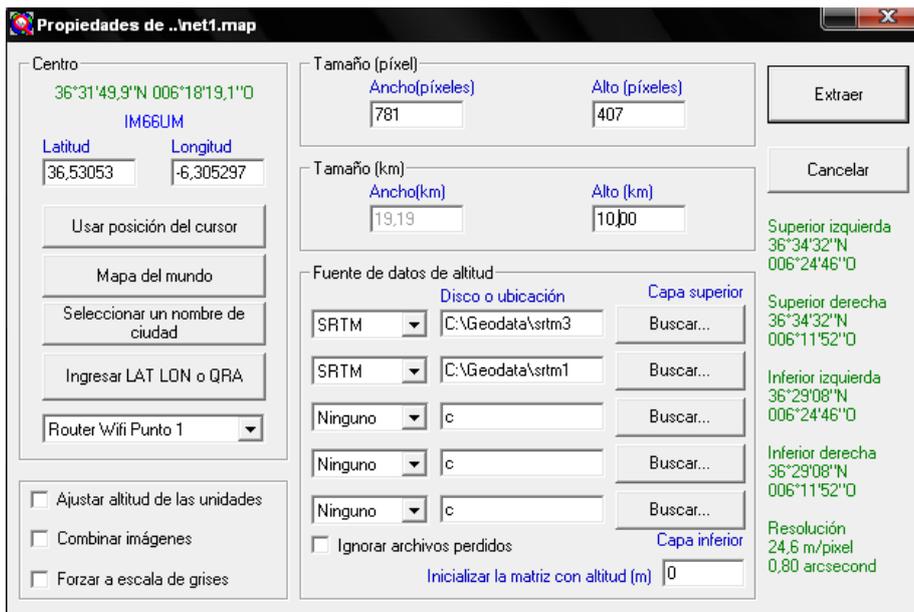
Equipo	Latitud	Longitud
Router Wifi Punto 1	36°31'49,91''	6°18'19,07''
Router Wifi Punto 2	36°31'48,66''	6°17'19,56''
Router Wifi Punto 3	36°31'34,58''	6°17'25,79''
Router Wifi Punto 4	36°32'13,26''	6°17'31,13''

Equipo	Latitud	Longitud
Módulo Informativo 1	36°31'32,58''	6°17'16,42''
Módulo Informativo 2	36°31'34,56''	6°17'17,81''
Módulo Informativo 3	36°31'33,92''	6°17'25,53''
Módulo Informativo 4	36°31'50,78''	6°18'19,00''
Módulo Informativo 5	36°31'50,60''	6°18'18,34''
Módulo Informativo 6	36°32'12,49''	6°17'30,16''
Módulo Informativo 7	36°31'48,21	6°17'20,48''
Modulo Sensor 1	36°31'34,39''	6°17'18,35''
Modulo Sensor 2	36°31'33,16''	6°17'19,93''
Modulo Sensor 3	36°31'33,30''	6°17'25,37''
Modulo Sensor 4	36°31'35,24''	6°17'25,63''
Modulo Sensor 5	36°31'50,71''	6°18'18,76''
Modulo Sensor 6	36°31'50,73''	6°18'18,59''
Modulo Sensor 7	36°32'13,06''	6°17'30,11''
Modulo Sensor 8	36°32'13,43''	6°17'29,91''
Modulo Sensor 9	36°32'12,72''	6°17'31,41''
Modulo Sensor 10	36°32'12,94''	6°17'31,31''
Modulo Sensor 11	36°32'15,06''	6°17'24,53''
Modulo Sensor 12	36°31'48,30''	6°17'20,00''
Modulo Sensor 13	36°31'47,98''	6°17'19,75''

Introducimos estos datos:



Ahora pasamos a configurar las Propiedades del mapa. Como ya hemos creado las unidades, podemos usar la opción “Seleccionar unidad” y seleccionar por ejemplo el Router Wifi Punto 1. Así, tomará la latitud/longitud de la sección de mapa a descargar a partir de las coordenadas del router.



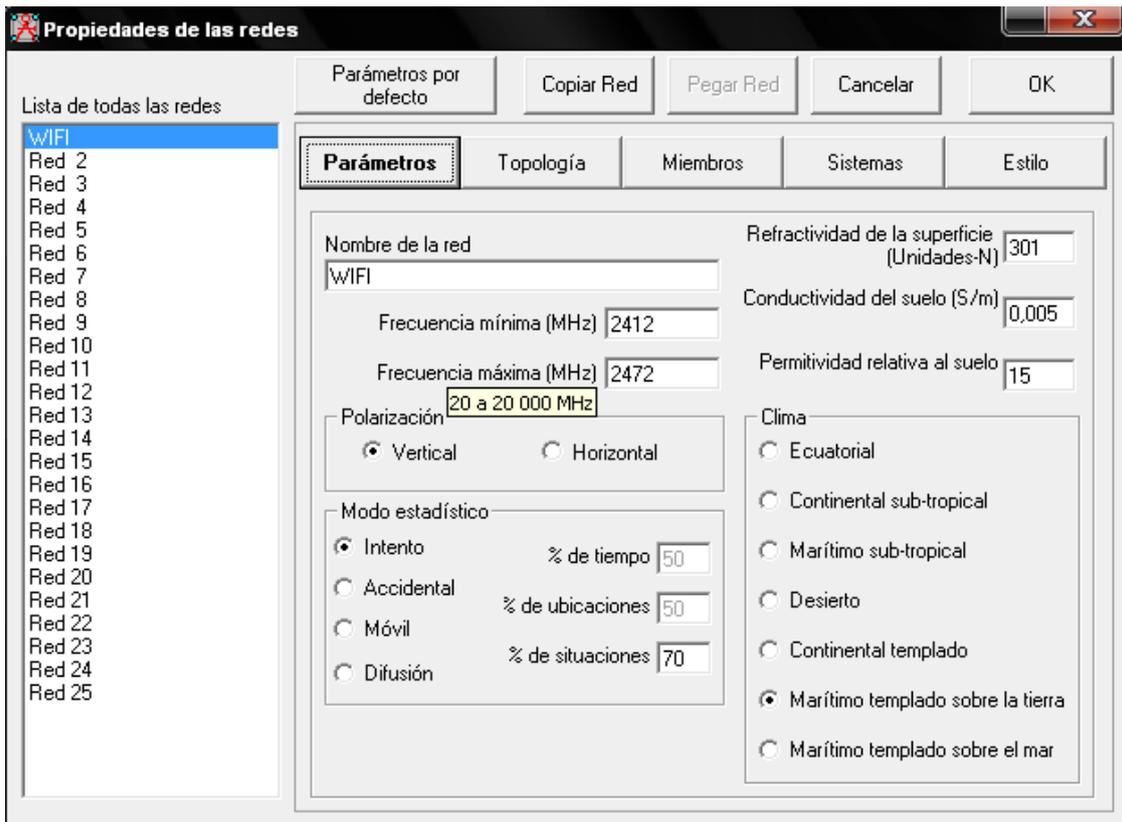
Ya estamos en condiciones de configurar la red, lo cual se puede hacer a través del menú Propiedades de las redes. En la nueva ventana, configuramos una nueva red WIFI con los parámetros característicos de este tipo de red.

Los parámetros Refractividad de la superficie, Conductividad del suelo y Permitividad relativa al suelo los dejaremos con sus valores por defecto. Estos parámetros se refieren a las características del terreno donde se despliega la red y sólo es necesario modificarlos cuando se trata de ambientes agresivos. El clima seleccionado será “Marítimo templado sobre la tierra”, ya que es el perfil que mejor se ajusta al clima de la ciudad de Cádiz.

Debemos también indicar la banda de frecuencias que emplea la red. En el caso de la tecnología Wifi, tenemos 13 canales de 20MHz de ancho de banda y separación de 5MHz entre uno y otro. EL rango de frecuencias es desde 2412 MHz hasta 2472 MHz. Así pues, introducimos este dato en las casillas Frecuencia Mínima y Frecuencia Máxima.

La polarización más utilizada en las antenas es la vertical, ya que en la superficie terrestre sufren menos atenuación que con polarización horizontal.

En el Modo estadístico debemos introducir el tipo de tráfico que deseamos simular. Lo habitual en este sistema será el envío de pequeñas ráfagas de información con cierta frecuencia (cada vez que se cuente un vehículo entrante o saliente). El modo “Intento” envía un único mensaje o ráfaga, el modo “Accidental” simula interferencias, el modo “Móvil” simula comunicaciones móviles y el modo “Difusión” simula un difusión desde el equipo hacia otros. El modo que mejor encaja es el de “Intento”, por tanto.



En la pestaña “Topología” se nos permite escoger entre una red de voz o una red de datos con topología en estrella o clúster. La mejor opción en este caso es la red de datos con topología en estrella, ya que interesa simplificar la red y no será necesario hacer balanceo de carga al haber muy pocos elementos transmitiendo y con poco tráfico.

En la pestaña “Sistema” indicaremos las características del sistema de transmisión, como la potencia del transmisor, las pérdidas en la línea o el umbral del receptor. También se indicarán las características de la antena, como el tipo (omnidireccional, direccional), la ganancia o la altura.

Dejaremos las pérdidas de línea tal y como están, ya que habrán pocos conectores y la longitud de los cables será mínima. En cuanto a la potencia de transmisión y la sensibilidad, debemos realizar algunos cálculos previos en base a las características que nos indica el fabricante del Router Linksys Wireless-G WRT54GL-EU, que será el equipo empleado para proveer de acceso 802.11g a todos los elementos Wifi de la red. Para la potencia de transmisión habrá que tener en cuenta la

normativa CNAF de 2010 (ver Anexo II), donde se limita el máximo de potencia radiada (PIRE) a 100mW para Wifi. Si pasamos este dato a decibelios obtenemos:

$$\text{PIRE máximo} = 10 \cdot \log(100mW) = \mathbf{20dB}$$

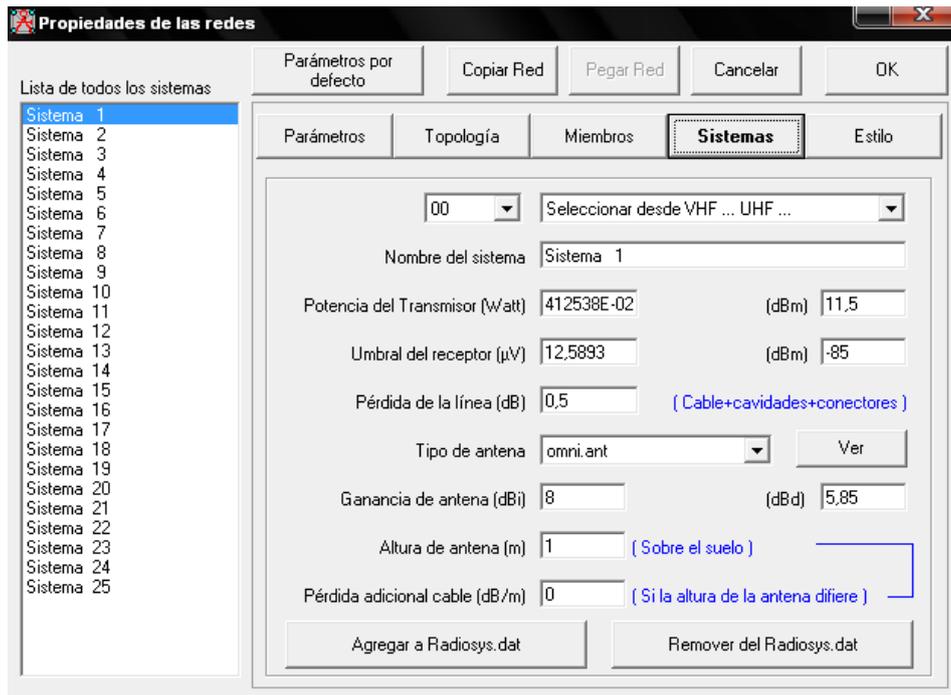
La fórmula para calcular el PIRE es:

$$\text{PIRE (dB)} = \text{Potencia máxima} + \text{Ganancia de la antena} - \text{Pérdidas}$$

En las especificaciones del router se indica que la potencia máxima de transmisión es de 18dBm y la ganancia de la antena es de 8 dBi. Las pérdidas de línea (debida a cables, cavidades y conectores) se deja en el valor que asigna por defecto Radio Mobile, 0.5 dB. Este valor es apropiado, ya que los equipos a emplear son soluciones muy optimizadas por la industria y con pocas pérdidas en el conexionado de la antena.

Basándonos en lo anterior, obtenemos un  $\text{PIRE} = 18 + 8 - 0.5 = \mathbf{26.5 dB}$  de PIRE. Esta cifra supera claramente el umbral de 20dB establecido por la CNAF, de modo que tendremos que reducir la potencia de transmisión del router de 18 a **11.5 dBm**.

En cuanto a la sensibilidad o umbral del receptor, observamos en las especificaciones del shield Wifly de Arduino, que emplea un módulo WiFly GSX 802.11b/g, que es de **-85dBm**.



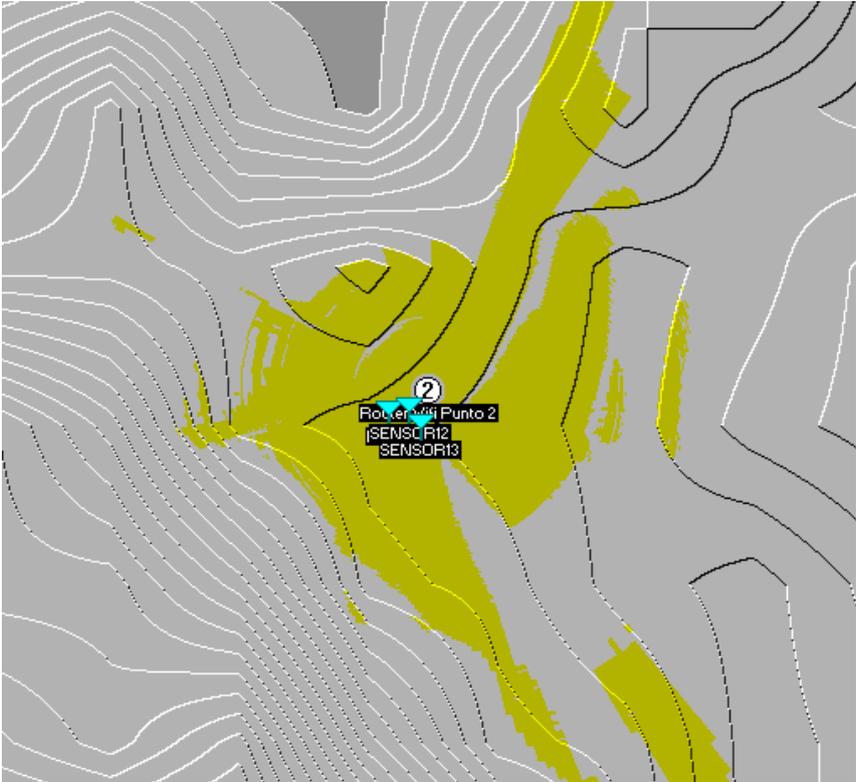
Finalmente, en la pestaña “Members” se especifica los equipos que pertenecen a la red.

Iremos seleccionando cada uno de los cuatro emplazamientos de los routers para comprobar que ofrecen la cobertura suficiente a los distintos módulos:

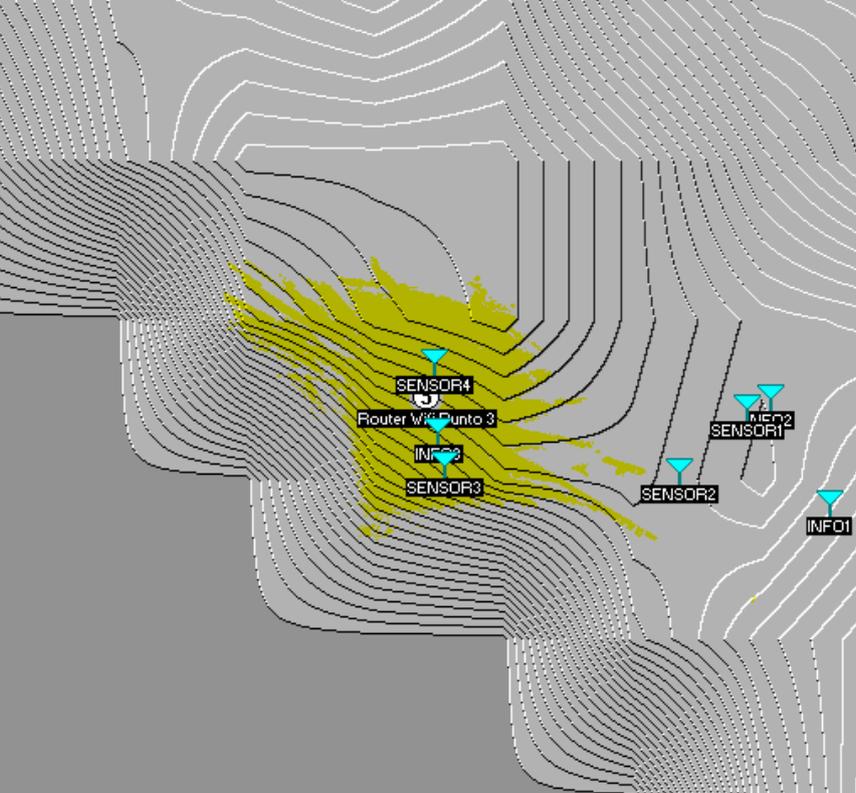
### Punto 1



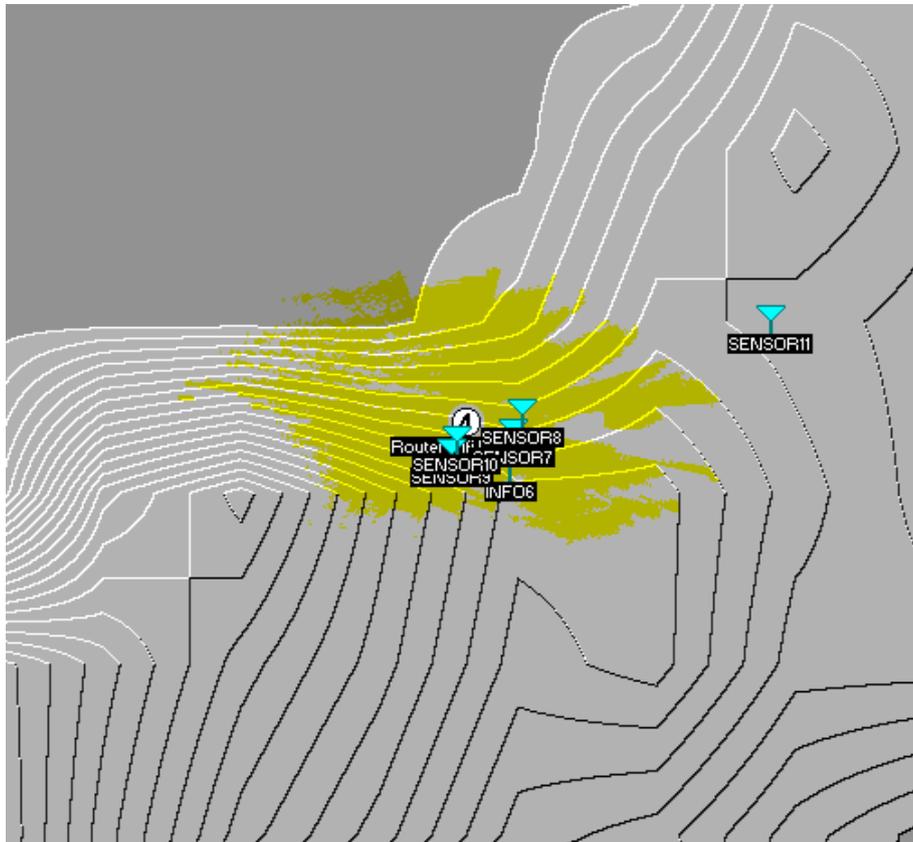
Punto 2



Punto 3



## Punto 4



Como se puede comprobar, la cobertura es perfecta para todos los equipos para los que se ha planificado un acceso a la red mediante Wifi. Asimismo, se observa que los sensores 1, 2 y 11 y los paneles informativos 1 y 2 quedan fuera de dicha cobertura. Para ellos se ha previsto un enlace mediante tecnología GSM (GPRS) de modo que no sea necesario realizar una instalación WiMAX, mucho más costosa (ver mapas de cobertura GSM en el Anexo I).

## Apartado 8. Presupuesto

Para la elaboración del presupuesto deben tenerse en cuenta tanto el suministro e instalación de los módulos como el desarrollo del software y el suministro eléctrico y de servicios de telecomunicación.

En primer lugar, para cada módulo sensor necesitaremos:

- Soporte vertical metálico: 20€
- Caja antivandálica y hermética: 55€ ([http://www.fototrampeo.es/product.php?id\\_product=49](http://www.fototrampeo.es/product.php?id_product=49))
- Partida para material y herramientas: 50€
- Kit alimentación solar: 215€
- Arduino UNO v3: 22€
- Arduino Wifly ó Arduino Cellular Shield: 75 €
- Sensores PIR: 8,95€
- Fabricación de cada módulo: 16 horas x 25€/hora = 400€
- Instalación de cada módulo: 8 horas x 25€/hora = 200€
- Configuración de cada módulo: 8 horas x 25€/hora = 200€
- TOTAL: **1245,95€**

En cuanto a los puntos de acceso y routers Wifi:

- Router Linksys Wireless-G WRT54GL-EU: es apropiado por su buena relación calidad-precio, con dos antenas omnidireccionales y algoritmo de cifrado WPA2: 70€
- Caja antivandálica y hermética: 55€ ([http://www.fototrampeo.es/product.php?id\\_product=49](http://www.fototrampeo.es/product.php?id_product=49))
- Instalación de cada router: 8 horas x 25€/hora = 200€
- Configuración de cada router: 4 horas x 25€/hora = 100€
- TOTAL: **425€**

Para el módulo de información será necesario:

- Soporte vertical metálico: 20€
- Partida para material y herramientas: 50€
- Kit alimentación solar: 215€
- Arduino UNO v3: 22€
- Arduino Wifly ó Arduino Cellular Shield: 75 €
- Rótulo de LEDs programable por puerto serie: 200€
- Fabricación de cada módulo (incluye fabricación del armazón): 80 horas x 25€/hora = 2000€
- Instalación de cada módulo: 8 horas x 25€/hora = 200€
- Configuración de cada módulo: 8 horas x 25€/hora = 200€
- **TOTAL: 3182€ (con 2 rótulos), 3382€ (con 3 rótulos), 3582€ (con 4 rótulos), 3782€ (con 5 rótulos)**

El desarrollo del sistema de información para la red de sensores y para la red de información:

- Análisis del sistema de sensores, el de información y la integración con parkings: 2 analistas x 21 días x 8 horas x 35€/hora = 11.760€
- Desarrollo de la solución (base de datos, aplicación Web PHP, procedimientos, apps para smartphones): 4 programadores x 61 días x 8 horas x 25€/hora = 48.800€
- Solución para la comunicación entre módulos: será necesario estudiar e implementar el método que emplearán los módulos (ya sea mediante Wifi o GPRS) para comunicarse con el servidor: 2 programadores x 12 días x 8 horas x 25€/hora = 4.800€
- Carga inicial de datos. Lo realizará personal contratado al efecto que contabilizarán el número de vehículos en la ciudad a la vez que controlan cuántos coches entran y salen de ella mientras. Todo en horario nocturno: 4 operarios x 1 día x 8 horas x 35€/hora = 1.120€
- Evaluación y validación del sistema: 2 programadores x 15 días x 8 horas x 25€/hora = 6.000€
- **TOTAL: 72.480€**

Por otra parte, tendremos el gasto en servicios de telecomunicación, que dependerá de la tecnología empleada en cada equipo. También habrá que tener en cuenta el hospedaje del servidor principal y las cuotas de desarrollador de Apple y Google:

- Tarifa plana ADSL 1 Mega de Movistar: 29,90€/mes por dispositivo
- Tarifa plana 1 Mega GPRS Movistar: 10€/mes por dispositivo
- Cuota Apple: 70€/año
- Cuota Google: 20€

Recopilando todos los conceptos y cuantificándolos, el presupuesto queda de la siguiente forma:

Concepto	Precio unitario	Cantidad	Total
Módulos sensor	1245,95€	17	21.181,15€
Módulos informativos (2 rótulos)	3182,00€	3	9.546,00€
Módulos informativos (3 rótulos)	3382,00€	1	3.382,00€
Módulos informativos (4 rótulos)	3582,00€	2	7.164,00€
Módulos informativos (5 rótulos)	3782,00€	1	3.782,00€
Módulos router Wifi	425,00€	4	1.700,00€
Desarrollo sistema	72.480,00€	1	72.480,00€
Conexión ADSL / año	29,90€	48	1.435,20€
Conexión GPRS / año	10,00€	60	600,00€
Cuotas apps / año	90,00€	1	90,00€
<b>TOTAL</b>			<b>121.360,35€</b>

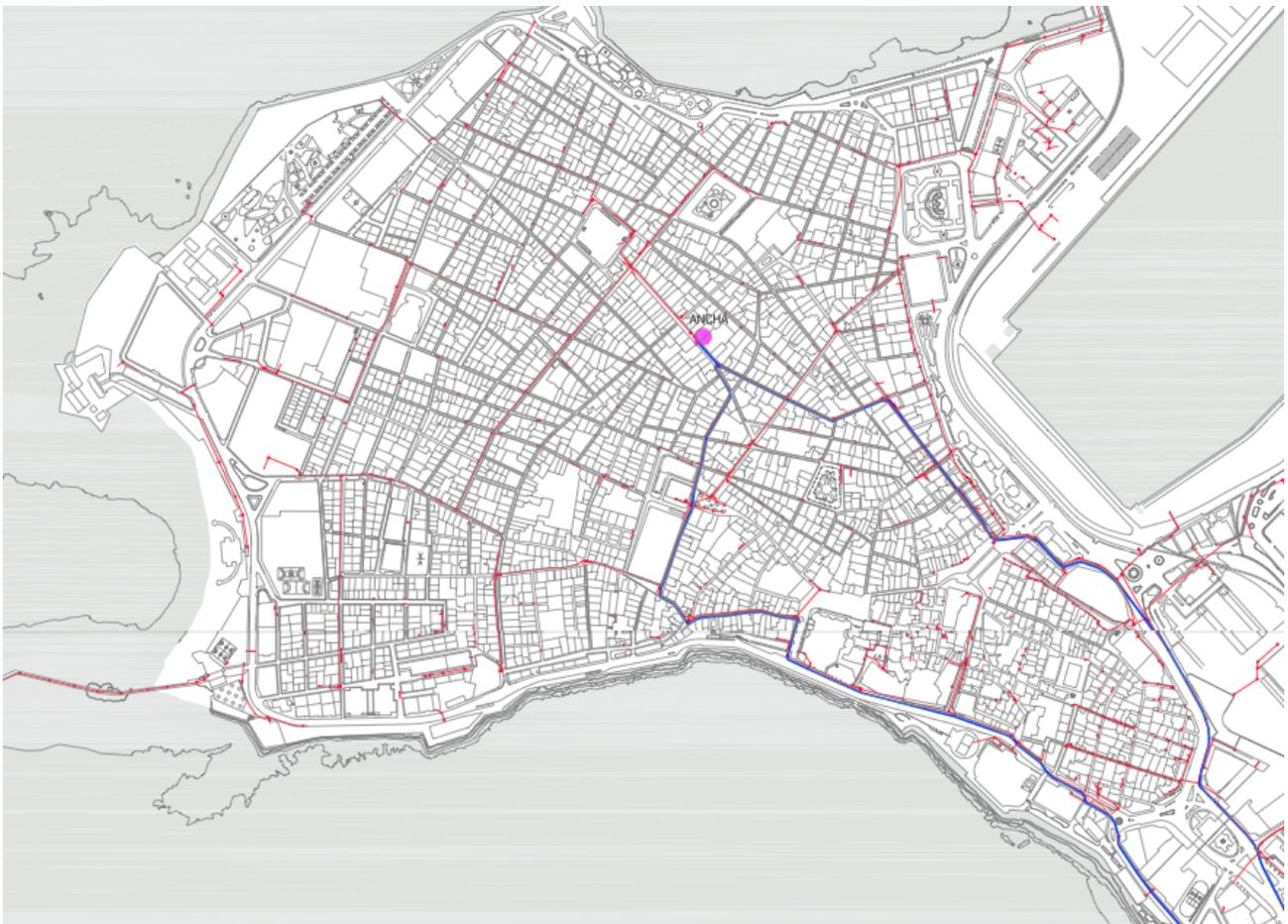
## Bibliografía y recursos:

- Material de la asignatura “Sistemas Telemáticos”. UOC.
- Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF 2010):  
<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/CNAF/notasUN2010.pdf>
- Especificaciones del router:  
[http://belkashop.com.ua/products\\_files/WRT54GL\\_V11\\_UG\\_EN.pdf](http://belkashop.com.ua/products_files/WRT54GL_V11_UG_EN.pdf)
- Especificaciones del shield Wifly de Arduino:  
<http://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/WiFi/rn-131-ds.pdf>
- Especificaciones del PIR: <http://www.parallax.com/dl/docs/prod/audiovis/pirsensor-v1.2.pdf>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Puente\\_de\\_La\\_Pepa](http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_de_La_Pepa)
- <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3-2002.pdf>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)
- [http://www.arduino.cc/es\\_old/Tutoriales/PIR](http://www.arduino.cc/es_old/Tutoriales/PIR)
- <http://hombremecatronico.es/?p=247>
- <http://www.grupoetra.com/cas/sectores/sistemas.aspx?id=8&idarea=29>
- <http://www.cadiz.es/>
- <http://www.apps.ietf.org/rfc/rfc3574.html>
- <http://www.arduino.cc/>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.15](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.15.4](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
- <http://www.infodev.ca/es/vehicules/productos-y-contadores-de-pasajeros/products/counting-devices/da-20es.html>
- API pública de San Francisco BART: <http://www.bart.gov/schedules/developers/index.aspx>

## Anexo I. Análisis de proveedores

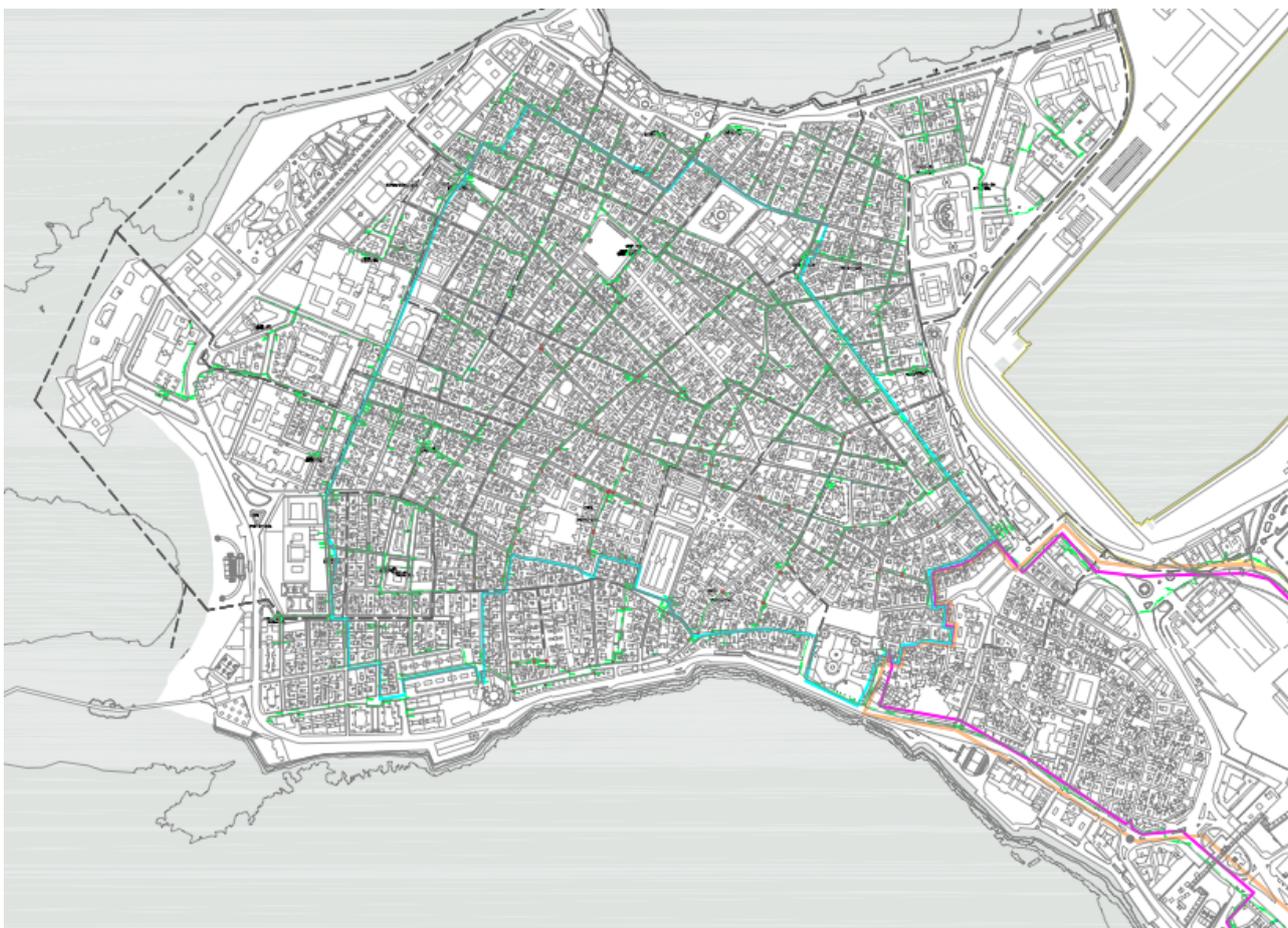
### I.1 Proveedores de servicios de instalación e Internet

Según el mapa de telecomunicaciones facilitado por la Concejalía de Urbanismo, el anillo principal (en azul) y las redes de distribución subterráneas (en rojo) de **Telefónica** instaladas en la ciudad tienen el siguiente trazado:



\* Plano de líneas de par de cobre instaladas por Telefónica (facilitado por el Ayuntamiento de Cádiz)

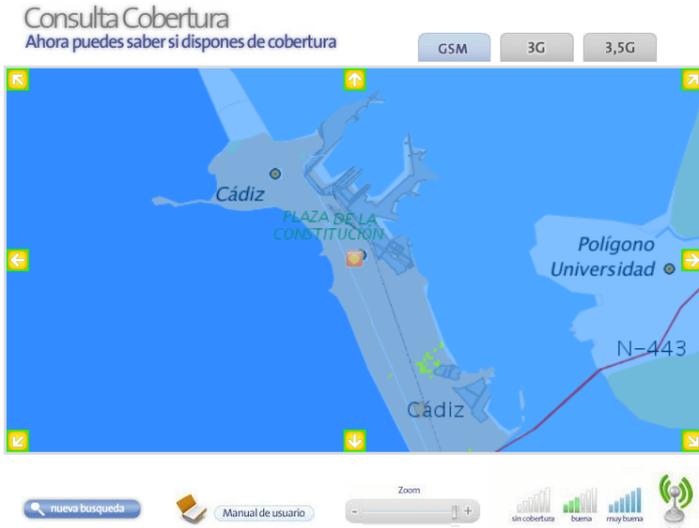
Según el mapa de telecomunicaciones facilitado por la Concejalía de Urbanismo, los anillos secundarios (en celeste, magenta y amarillo) y la red de distribución terciaria (en verde) de fibra óptica de **Ono** tienen el siguiente trazado:



\* Plano de anillos de fibra óptica de Ono (facilitado por el Ayuntamiento de Cádiz)

Como se puede observar, la red de fibra óptica de Ono se desarrolla principalmente a lo largo de las calles centrales de la ciudad, mientras que la red de par simétrico de cobre de Telefónica está mucho más ramificada y cubre todas las calles, incluyendo las del litoral. Este sistema se implantará en un alto porcentaje en las calles del litoral, de modo que la opción más sensata es el ADSL. Por tanto, habrá que solicitar a los distintas compañías que utilizan la antigua red de Telefónica un presupuesto por los servicios de comunicación necesarios.

Vemos también los mapas de cobertura GSM/GPRS de los principales proveedores de servicios de telecomunicación:



Cobertura GSM/GPRS de Movistar



Cobertura GSM/GPRS de Vodafone y Yoigo



Como se puede observar en los mapas, la cobertura de las principales compañías es excelente. La elección se basará por tanto en la negociación económica y en la relación de la administración local con los distintos suministradores.

En cuanto a las empresas de servicios de obras e instalaciones de electricidad e informática, el Ayuntamiento de Cádiz deberá sacar a concurso público una oferta para conformar una UTE (unión temporal de empresas). De este modo, podrán participar en dicha convocatoria aquellas empresas que, asociadas en la UTE, sean referentes de calidad en su correspondiente sector (instalaciones eléctricas, obras en la vía pública, instalaciones de telecomunicación e instalación/configuración de equipos informáticos).

## 1.2 Proveedores de material informático y de red

En primer lugar, el módulo sensor puede obtenerse o bien como un conjunto facilitado por alguna de las empresas proveedoras tradicionales o bien construyéndolo a partir de hardware libre tipo Arduino.

La opción empleada para la recolección de referencias de empresas de este tipo es Internet. Se ha consultado con el Ayuntamiento de Cádiz si dispone de un historial de empresas proveedoras de este tipo de material, pero dada la originalidad del sistema planteado ninguna empresa dispone del material disponible.

Entre las empresas que ofrecen los componentes de red (routers Wifi) tenemos:

- [www.lafactoriawifi.com](http://www.lafactoriawifi.com): ofrece productos al por mayor a un precio competitivo, que además se puede negociar para el proyecto por ser un pedido grande.
- [www.appinformatica.com](http://www.appinformatica.com): es un proveedor nacional con puntos de venta locales, aunque ofrece principalmente productos para el mercado doméstico.
- <http://www.mediamarkt.es/>: empresa multinacional con presencia en Cádiz. Aunque el suministro sería seguro, también lo sería un mayor precio.

En base a lo anterior, y sin disponer de más empresas referentes del sector que puedan suministrar el material de red requerido, se optará por [www.lafactoriawifi.com](http://www.lafactoriawifi.com)

En cuanto al material necesario para fabricar los módulos, existen dos posibilidades:

- Suministro de los módulos sensores y los paneles de LEDs por parte de alguna empresa que ofrezca una solución standard. Existen numerosas empresas que proveen de estos servicios, principalmente para instalaciones en aparcamientos subterráneos y de centros comerciales. De entre ellas, podemos citar a:
  - o [www.tinynode.com](http://www.tinynode.com): dispone de un sistema de detección de vehículos ya probado y del cual ofrecen una solución tipo kit. Aunque ofrecen una solución con bastante calidad, el precio es también bastante alto. Para el presente proyecto se puede admitir cierto margen de error en la medida de los vehículos. Además, un punto importante es la posibilidad de poder contabilizar sólo los turismos (no autobuses ni motocicletas), implementándolo mediante programación o por hardware en el módulo sensor. Esta posibilidad no la ofrece el sistema de Tiny Node, de modo que es descartado.

- [www.szfangle.com](http://www.szfangle.com): Shezen Fangle Technologies es una empresa china que dispone de un módulo sensor con la suficiente sensibilidad, comunicación inalámbrica y batería (orientado a controlar la presencia de un vehículo en su plaza de parking). Podría servir en una futura extensión del sistema para permitir localizar plazas libres individualmente, pero en el presente proyecto es necesario también poder programar el módulo sensor para eliminar casos no válidos (p. Ej. Autobuses).
- [www.grupoetra.com](http://www.grupoetra.com): se trata de la empresa encargada de suministrar e instalar el sistema de control de aparcamientos del Parking de Canalejas, recién inaugurado. Es, por tanto, una empresa ya conocida por el Ayuntamiento de Cádiz, el cual cuenta con una buena referencia respecto de esta última ejecución mencionada. Dispone de un sistema ya desarrollado y probado de control de aparcamientos aunque, como las demás empresas, no ofrece los componentes exactos necesarios para el presente sistema.
- Diseño y fabricación de los módulos como parte del proyecto. En este caso, que parece ser el más acertado dadas las características tan específicas e innovadoras del proyecto, se diseñaría un módulo sensor con las características requeridas: totalmente autónomo en cuanto a alimentación eléctrica, programable a nivel hardware o software para permitir contabilizar sólo turismos, con un margen de calidad aceptable, hermético y antivandálico y que permita comunicación mediante 802.11b/g o GPRS.
  - La mejor forma de cumplir todos estos requisitos es crear el módulo a partir de una placa Arduino ([www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)). Se trata de una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo propio, que tiene sus orígenes en proyectos académicos para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Esta placa permite incorporarle diversos módulos externos a través de los puertos de entrada/salida, de modo que existen módulos que le añaden comunicación inalámbrica mediante Wifi o GPRS y módulos que le añaden la posibilidad de detectar vehículos. El principal suministrador de Arduino y sus accesorios es [www.bricogeek.com](http://www.bricogeek.com), que dispone de la placa Arduino y de todos los módulos mencionados.

- En cuanto al suministrador del material para la instalación: cableado, empalmes, soporte metálico, caja hermética/antivandálica; podemos acudir a cualquier empresa de electrónica/electricidad local: Electro Gardi, Korus, Electricidad Lora.
- Por último, será necesario un proveedor de la tecnología para la alimentación del módulo, basada en una placa fotovoltaica y una batería. Existen muchas empresas que ofrecen kits solares de baja potencia que cumplen exactamente el requisito de la placa Arduino (12 V CC). Por ejemplo, las empresas [www.zigor.com](http://www.zigor.com) y, sobre todo, el kit solar básico de [www.distribucionessolares.com](http://www.distribucionessolares.com), son perfectos.

### I.3 Proveedores de sistemas de cartelería digital

Para la cartelería digital o paneles informativos, será necesario encontrar un suministrador del panel de LEDs y luego diseñar y fabricar el módulo de información a partir de una placa Arduino. Un buen suministrador de paneles LEDs es [www.rotuloselectronicos.net](http://www.rotuloselectronicos.net), que dispone de rótulos de todos los tipos y programables. En cuanto a la placa Arduino, módulos extra y material de instalación, serían los mismos proveedores que en el caso del módulo sensor.

## Anexo II. Normativa CNAF 2010

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), cuya última revisión fue publicada como Orden ITC/332/2010 en el BOE, establece el reparto del espectro radioeléctrico dentro del territorio español. En el cuadro también se establecen diversos parámetros según la asignación, como por ejemplo la normativa que deben cumplir los equipos o la potencia isotrópica radiada equivalente máxima (p.i.r.e.). A continuación, se muestra la UN-85, correspondiente a las redes 802.11:

### **UN - 85 RLANs y datos en 2400 a 2483,5 MHz**

La banda de frecuencias 2400 - 2483,5 MHz, designada en el Reglamento de Radiocomunicaciones para aplicaciones ICM, podrá ser utilizada también para los siguientes usos:

- a) Sistemas de transmisión de datos de banda ancha y de acceso inalámbrico a redes de comunicaciones electrónicas incluyendo redes de área local. Estos dispositivos pueden funcionar con una potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.) máxima de 100 mW conforme a la Decisión de la Comisión 2009/381/CE y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03, Anexo 3. En cuanto a las características técnicas de estos equipos, la norma de referencia es el estándar ETSI EN 300 328 en su versión actualizada. Esta utilización se considera de uso común.
  
- b) Dispositivos genéricos de baja potencia en recintos cerrados y exteriores de corto alcance, incluyendo aplicaciones de video. La potencia isotrópica radiada equivalente máxima será inferior a 10 mW conforme a la Decisión de la Comisión 2009/381/CE y la Recomendación CEPT ERC/REC 70-03, Anexo 1, siendo la norma técnica de referencia el estándar ETSI EN 300 440. Esta utilización se considera de uso común.

### **Anexo III. Posible ampliación futura**

Aunque no se incluye en el alcance de este proyecto, se propone una posible ampliación al sistema que consiste en colocar un detector de presencia en cada plaza de aparcamiento gratuita de la ciudad. De este modo se podría guiar al usuario hasta la plaza libre más cercana directamente, incrementando así la efectividad del sistema. Los sensores tendrían emisores Zigbee que los conectarían a concentradores situados en las calles. Supondría un esfuerzo/coste mayores, ya que habría que realizar numerosas actuaciones en la infraestructura de telecomunicaciones de la ciudad. A cada plaza se le asignaría en el servidor un número de identificación asociado a unas coordenadas, de modo que se pudiera localizar exactamente el punto en un sistema de navegación.