



E1.6 - Descripción laboratorio ITI iMoLab

Octubre 2023

Proyecto ejecutado por:



Con la financiación de:



Cofinanciado por
la Unión Europea

Índice

01_ Introducción	2
02_ Selección de casos de uso	6
03_ Definición del demostrador	11
04_ Implementación ITI iMoLab	19

Nota legal



Este documento está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Se permite libremente copiar, distribuir y comunicar públicamente esta obra siempre y cuando se reconozca la autoría y no se use para fines comerciales. No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra. Los derechos de autor de todas las marcas, nombres comerciales, marcas registradas, logos e imágenes pertenecen a sus respectivos propietarios.

1. Introducción

El presente entregable tiene por objeto detallar el piloto demostrativo de la tecnología de balizamiento desarrollada por ITI, en el marco del presente proyecto, que, en base a distintos casos de uso reales, permita demostrar las capacidades de esta tecnología de comunicaciones, y ayudar a visualizar el nuevo abanico de aplicaciones y servicios que puede generar esta conectividad en vehículos y elementos de la infraestructura.

Como caso de uso principal se propone una aplicación de Green wave, debido a que cuando los vehículos de una vía urbana consiguen adaptar su velocidad para sincronizarse con los siguientes semáforos, se consigue un tráfico fluido (ola verde) que reduce los tiempos de parada, la generación de colas y atascos, así como también las emisiones de CO₂ y contaminación acústica, y la tasa de golpes y accidentes.

Por tanto, el caso de uso contempla la utilización de un semáforo inteligente el cual emite información de su estado y su planificación temporal. Esta información, se traslada a los vehículos de su celda, proporcionándoles no solo su contenido sino también la velocidad a la que el vehículo debería de circular con el fin de minimizar e incluso eliminar el tiempo de parada en el semáforo.

Este demostrador se complementará además con otros casos de uso en los cuales se utiliza una aplicación de balizas de advertencia o información, por ejemplo, una baliza en una zona de mantenimiento u obras en carretera, un vehículo accidentado, o información de una electrolinera.

De tal manera que, ITI iMoLab comprende el diseño y desarrollo de un laboratorio para desarrollar tareas de investigación y desarrollo de tecnologías de comunicaciones vehiculares, realizar testeos y validaciones de integración en dispositivos de vehículos o infraestructura de vía pública, y analizar y desarrollar nuevas aplicaciones y servicios vinculados a la conectividad de los elementos de la infraestructura de transporte. Por tanto, este espacio está diseñado para dar soporte a la actividad investigadora de los centros y las empresas en fases tempranas del desarrollo de nuevas soluciones y productos, así como la transferencia de conocimientos y tecnologías a las empresas.

La instalación incluye instrumentos y dispositivos para trabajar con tecnologías de comunicaciones vehiculares, desarrollar nuevos protocolos y aplicaciones, diseñar nuevos servicios o soluciones basados en estas tecnologías, y testear y evaluar su rendimiento.

Se ha de tener en cuenta que, tanto para la selección de los casos de uso, como para el desarrollo del demostrador y su implantación en el Laboratorio ITI iMoLab, ITI ha contado con el apoyo de la empresa TRAFFIC FUTURA, que ha mostrado su interés en colaborar a lo largo de todas las fases del desarrollo del proyecto. Además, ha proporcionado a ITI parte de los elementos viales necesarios para el desarrollo del demostrador.

Si bien es cierto es importante también mencionar el apoyo recibido por AUDECA y CHM, empresas que colaboraron activamente para la definición de los casos uso.

Requisitos y elección de tecnología.

ITI cuenta con una línea de trabajo para el desarrollo de tecnologías que habilitan capacidades telemáticas a diversos elementos que forman parte de la vía, ya sean infraestructura o vehículos. Estas comunicaciones permiten incrementar y mejorar tanto la seguridad de la conducción, mediante la inserción de un mayor número de estímulos, que indican y alertan sobre el estado actual, como la eficiencia, permitiendo adoptar las mejores configuraciones y acciones. Debido a la heterogeneidad de soluciones existentes, así como de otros aspectos relacionados como son el coste, la disponibilidad y los propios requisitos, se hace necesario analizar cuáles de las mismas pueden aplicarse a diferentes casos de uso. En particular, y dentro del proyecto iMolab, ITI analiza el uso de tecnología madura y de bajo coste para su uso en aplicaciones relativas a la notificación de información y balizamiento en carretera.

El objetivo de ITI, dentro del proyecto iMolab, es el estudio de tecnologías de comunicación inalámbricas para su uso en aplicaciones relativas a la notificación de información y balizamiento en carretera. Este tipo de aplicaciones constituye un canal adicional a los existentes y disponibles (si es que se incorporan) por los vehículos. En general, los vehículos (de más reciente aparición) suelen contar con diferentes mecanismos enfocados a la obtención de información sobre el entorno y/o las características de la vía y conducción. Así pues, estos pueden contar con diferentes sensores que permiten extraer datos que añaden y complementan a los que el propio conductor percibe y que pueden hacer mejorar tanto su seguridad como la propia eficiencia en la conducción. Algunos ejemplos de esto son las cámaras que disponen los vehículos que permiten captar la información de ciertas señales, sensores para la detección de cambio de carril, sensores de ultra-sonido para el aparcamiento del vehículo, etcétera. Estos sensores están integrados en el vehículo, pero no reciben información de la propia vía o infraestructura, limitando el tipo de usos de estos, además de que pueden no tener información absolutamente precisa de lo que captan sobre el entorno. Las tecnologías de balizamiento por el contrario permiten diseminar información desde el propio origen (infraestructura) hacia los vehículos, abriendo de este modo la posibilidad de comunicar en tiempo real datos sobre el estado de la vía, obstáculos cualquier otra información que varíe de forma permanente.

Hay que recalcar, que en el caso de aplicaciones de balizamiento, estos datos representan un carácter informativo y que, si bien tienen una alta garantía de ser recibidos, no implican fiabilidad del 100%. Por tanto, como se ha comentado, esta información debe ser tratada como un estímulo más que proviene del entorno y que en caso de obtenerse, enriquece la información disponible, tratándose de un canal o vía adicional.

Dentro de iMolab, ITI ha seleccionado la tecnología Bluetooth tanto como tecnología candidata como para el desarrollo de un demostrador. Esta tecnología integra un sub-

protocolo denominado Bluetooth Low Energy enfocado para aplicaciones de bajo consumo energético y que en sus últimas revisiones incorpora mecanismos adicionales que permiten tener un mayor alcance y robustez en las comunicaciones, además de permitir modos de funcionamiento orientados a la no conexión y que hacen viable la implantación del modelo basado en difusión o balizamiento.

Además, esta tecnología cuenta con varios factores adicionales que la hacen muy interesante, ya que cuenta con una alta penetrabilidad en el mercado, donde es muy común que dispositivos electrónicos integren un chip de radio compatible con el mismo (en alguna de sus versiones), y por ende conlleva a que exista una gran comunidad de desarrolladores, tanto hardware como software, que la utilizan. Este hecho conlleva, a su vez, que la tecnología sea accesible y de muy bajo coste en comparación con otras soluciones del mercado. Es por ello que Bluetooth se considera una tecnología candidata para ser empleada en ciertas aplicaciones relativas a las comunicaciones vehiculares y a los ITS (*Intelligent Transport Systems*).

Bluetooth, desde sus orígenes, es una tecnología inalámbrica de área personal (WPAN) orientada a la interconexión sin cable de dispositivos electrónicos (ratones, auriculares, teclados, etcétera) pero que con la incorporación de nuevas mejoras durante su continua evolución ha conseguido destacar por ser una especie de “navaja suiza”, en la cual, sin estar diseñado específicamente para determinadas aplicaciones, si permite ser usado con prestaciones aceptables en multitud de casos. Si bien es cierto, y para no verse relegado ante nuevas tecnologías enfocadas a ser empleadas en equipos con restricciones de consumo energético y/ bajos recursos computacionales, se incluyó dentro del mismo un sub-protocolo denominado Bluetooth Low Energy (aunque oficialmente se englobe bajo el mismo nombre de Bluetooth desde la versión 4.0 en adelante).

Bluetooth Low Energy, o BLE, introduce entre sus novedades la posibilidad de utilizar un modo de comunicación no orientado a conexión (o *connection-less*) en el cual un nodo emisor difunde un mensaje y aquellos nodos al alcance podrán recibirlo. Este tipo de aplicaciones se denominan como balizamiento, *beaconing* o *advertisement*. Además, las últimas revisiones incorporan novedades sustanciales en cuanto a la mejora de la fiabilidad de las comunicaciones como al alcance de la señal del mismo. Este nuevo modo, junto con las mejoras presentadas, posibilita la implantación de nuevas aplicaciones, en especial aquellas enfocadas a la notificación y alerta de información.

Así pues, y tras la elección de la tecnología a emplear, se considera básico, para que una tecnología sea usada, que no solo cumpla con el mayor número de requisitos que pueden demandar las aplicaciones, sino que además sea una tecnología accesible con el mejor balance en todos los aspectos: coste, facilidad de implantación, soporte, madurez, etcétera. En este contexto, los requisitos considerados son los siguientes:

- **Robustez de las comunicaciones:** la tecnología debe de proporcionar mecanismos que permitan garantizar una cierta calidad y seguridad en la entrega de los mensajes cuando pueda haber coexistencia/interferencias con otros protocolos.

- **Alcance de las comunicaciones:** requisito fundamental para la aplicación de la tecnología en carretera, ya que un mayor alcance o distancia a la cual pueda ser recibida la señal implica directamente un mayor tiempo para la recepción y la toma de decisiones.
- **Facilidad de implantación:** hace referencia a los medios adicionales necesarios para poner en marcha una aplicación basada en la tecnología. A menores requisitos más fácil será su adopción, ya que evitará el uso de infraestructuras y componentes adicionales que pueden ser difíciles de incorporar en determinados escenarios.
- **Bajo coste:** representa un aspecto fundamental, particularmente en usos urbanos / vías, ya que los dispositivos tecnológicos pueden requerir un constante cambio debido a las condiciones de instalación externa: robos y hurtos, roturas, desgaste, etcétera.
- **Madurez y accesibilidad de las tecnologías:** es fundamental ya que garantiza que el comportamiento de la tecnología es ampliamente conocido, además de estar disponible para un gran número de usuarios, y por extensión de empresas desarrolladoras.

Resumen y detalle de las tecnologías de Comunicaciones para ITS.

En base a lo comentado, se sintetizan a continuación los principales aspectos del trabajo realizado en el proyecto:

- Un *Intelligent Transport System* (ITS) requiere de tecnologías que habiliten la conectividad de los diferentes elementos participantes en el sector transporte.
- El balizamiento es una tecnología sencilla y económica que permite dotar de una conectividad básica a los elementos de la infraestructura.
- Siendo un sistema sencillo y limitado, el balizamiento permite un enorme abanico de aplicaciones, donde el intercambio de información entre el vehículo y la infraestructura es el elemento central.
- Las tecnologías de balizamiento actuales no están diseñadas para este tipo de entornos, por lo que presentan inconvenientes ligados a:
 - Limitación del alcance para dar cobertura a las aplicaciones ITS
 - Congestión de las bandas libres en zonas con mayor densidad de vehículos, infraestructuras o habitantes.
- La tecnología desarrollada por ITI se basa en Bluetooth 5 para generar una baliza compatible con el estándar, pero adaptada a las necesidades de las aplicaciones ITS, con un elevado alcance e inmunidad a otras tecnologías.

2. Selección de casos de usos

El proceso de selección de casos de uso se inicia por parte del equipo de trabajo de ITI, y consta de un análisis y experimentación de la tecnología que se proyecta en la definición de una serie de aplicaciones y usos que se consideran de interés para el mercado. Entre ellos se destaca el balizamiento, como posible aplicación de interés, dado que ofrece grandes posibilidades para ser usado como medio para la comunicación y difusión de información en aplicaciones vehiculares, ya sea tanto del vehículo a la infraestructura, como de la infraestructura al vehículo o incluso vehículo a vehículo. Tras llevar a cabo un primer borrador de posibles casos de uso, se realiza una presentación, de forma individualizada, a las empresas colaboradoras en el proyecto, las cuales son un referente en el sector de la movilidad : Traffic Futura, Audeca y CHM.

El objetivo de estas reuniones, de tipo *brainstorming*, es detectar campos de trabajo y escenarios interesantes, según las propias experiencias y visiones del mercado de las empresas, para de este modo avanzar en la selección de los diferentes casos de uso a desarrollar en el demostrador.

Después de las primeras reuniones mantenidas con las empresas, donde se mostraron las posibilidades que ofrece la tecnología de balizamiento aplicada a las comunicaciones vehiculares, y tras ver que las posibilidades de aplicación eran muy extensas, desde ITI se decidió realizar un trabajo de clasificación, de las posibles aplicaciones, en diferentes categorías. A continuación se muestran diferentes casos de uso en base a las categorías definidas y algunos de los ejemplos que podrían verse beneficiados:

Categoría: POIs (Points Of Interests).

Se utiliza el balizamiento desde la infraestructura hacia el vehículo para ofrecer información complementaria que mejore la experiencia de conducción. Algunos casos de aplicación pueden ser:

- **Señalización estado de la calzada/meteorología:** advierten al usuario sobre el estado de la calzada o eventos meteorológicos que pueden afectar a la conducción.
 - Si además puede alimentarse con información de GPS para indicar lugar aproximado, puede ser útil para mostrarse en HMI del coche en el caso del comienzo y final de las mismas.
- **Balizamiento informativo:** entre los que puede incluirse; precios gasolinera, salida cerrada, servicios en la salida del área de servicio, estado de apertura de puertos de montaña, etcétera. Estos datos serán mostrados en el panel del vehículo.

- A modo adicional, podría emplearse para notificar sobre poblaciones, construcciones o parajes de interés por las zonas cercanas al tránsito del vehículo.
- **Bicicletas:** complemento instalado en bicicletas emite balizas para indicar al conductor la proximidad de un vehículo de este tipo.
 - Podría estimarse mediante el RSSI un valor aproximado de distancia, indicando de forma cualitativa: verde (lejos), amarillo (distancia media), rojo (cercano).
- **Notificación de aviso en zonas escolares:** en la zona de un colegio o salida del mismo puede habilitarse un sistema de baliza que avise que se está produciendo la entrada/salida de niños de tal forma que en el sistema o panel del vehículo aparezca una alerta de tramo conflictivo. Adicionalmente podría ser interesante enviar cierta información como el tipo o grupo del colegio que está saliendo/entrando, de esta forma si los vehículos se encuentran esperando al niño pueden conocer si ha salido su grupo ya, e incluso minimizar los atascos en las puertas de los colegios dispersando los vehículos en zonas más alejadas a la puerta y solo accediendo aquellos del grupo indicado.

Categoría: Despliegues flexibles.

Se usa el sistema de comunicación para alertar de situaciones temporales, especialmente en obras. Permite alertar a los vehículos para que moderen la velocidad y aumenten las precauciones. Otro ejemplo claro de uso es su adaptación en conos de señalización de obras en carretera en los cuales puede usarse un sistema acoplado a cada cono de balizamiento consistente en:

- **Sensor de ultrasonido:** permite determinar la cercanía de un vehículo.
- **Sensor acelerómetro:** permite determinar si un cono ha sido derribado.
- **Emisor de balizas:** permite emitir el estado e información del propio cono.

En este caso puede emitirse información de forma continua a los operarios que realizan trabajos a pie de vía sobre la cercanía de vehículos. Si además uno de los conos fue derribado, permite el aviso con cierto margen de segundos (dependiendo del alcance de la baliza) para proceder a realizar una salvaguarda del propio operario.

Categoría: Señalética inteligente.

La infraestructura emite información sobre la normativa de conducción que es recibida en el panel del vehículo para mejorar la misma. Entre estas puede encontrarse cualquier señalización sobre:

- **Estado del semáforo:** situando la baliza que emite su estado (color y tiempo de cambio) de forma periódica a los vehículos.
- **Velocidades de la vía:** utilizado para indicar la velocidad autorizada en el tramo de vía.
- **Indicación de existencia de radar/punto peligroso:** empleando para delimitar el segmento donde puede ubicarse un radar o zona peligrosa de la calzada:
 - Podría emplearse adicionalmente un mensaje informativo que ayude a respetar las informaciones (descargado por Internet). Por ejemplo: *“modere velocidad, 250 accidentes en los últimos 5 años”*.
- **Prohibiciones (galibo, pesaje) en el sentido de circulación de la vía:** que sirvan al conductor para abandonar la vía en forma de recordatorio.
- **Stops y ceda el paso:** alertando sobre la proximidad de uno de estos cruces.
- Etcétera.

Categoría: Vehículo a infraestructura.

En el cual se emplea un esquema opuesto al presentado anteriormente. En este caso es el vehículo el que emite las balizas hacia la infraestructura o cualquier otro usuario. Algunos ejemplos son:

- **Ayuda a baliza tipo de V16:** Situar en las balizas lumínicas de tipo V16 un emisor también de tipo BLE que permita con la distancia alertar mejor también a los usuarios de la calzada. En este caso, además de la propia señalización lumínica se emite balizas de largo alcance que pueden ser recibidas por otros vehículos como complemento y ayuda a la detección y prevención de nuevas colisiones.
 - Nota: Puede ser interesante enfocarlo a que mejora el aviso antes de que la persona ponga triángulos o luz (apoyo a la luz obligatoria).
- **Emisión de información sobre el tipo de vehículo:** el vehículo emite datos relativos al tipo, estado, uso, etcétera y que pueden ser utilizados para:
 - **Panel informativo interactivo:** con cualquier dato que sea de relativo interés en función del tipo de vehículo.

- Por ejemplo, el vehículo puede emitir la cantidad de depósito de gasolina que le queda y el panel indicar la distancia en kilómetros de la próxima gasolinera.
- **Exceso de galibo o peso:** un panel informativo, a la entrada de la zona limitada, indica al vehículo que este debe detenerse por exceso de dimensiones o peso.
- **Encendido del alumbrado automático a mayor distancia o intensidad dependiendo del volumen del tráfico:** se detectan las balizas emitidas y se enciende la rotonda o el túnel. Dependiendo del número de vehículos puede calcularse el número e intensidad de iluminación necesaria.
- **Tipo de categoría de vehículo:** indicando en el panel informativo que el vehículo no puede atravesar cierta zona.
- **Comunicación de accidente o estado de la calzada:** mediante un botón o el panel de info-tainment del vehículo indicar evento y se emite desde ese momento la coordenada GPS que se puso durante ratos. En la calzada hay receptores que captan la baliza y la comunican a la DGT o al operativo necesario.
- **Apertura de vallas de parking:** cuando se detecta el vehículo que emite la baliza. Como la baliza emite el tipo de vehículo y alguna otra información puede ser empleado también como autorización de entrada.

Tras compartir con las empresas, los diferentes casos de uso, agrupados en categorías y mostrarles algunos de los ejemplos con los que podrían verse beneficiadas, se seleccionaron como relevantes dos de ellos:

- Señalética inteligente: aplicación del caso de un semáforo vial con capacidad para proporcionar información Green Wave para el vehículo.
- Despliegues flexibles: aplicación del caso de uso de la señal de obras en calzada que permite ser recibida por los vehículos

Caso de uso seleccionado 1: Semáforo inteligente Green Wave.

El objetivo es emplear las balizas para dotar a los semáforos de la emisión de información que permita a los vehículos calcular la velocidad idónea para prolongar al máximo posible la marcha continua en aras de mejorar la eficiencia de conducción, reducción de las esperas y la disminución de emisiones y ruidos.

Para ello se usa un semáforo de tráfico (de tres estados / colores) en el cual se integra en su interior una baliza que emite la siguiente información:

- **Color y tiempo** para el cambio al siguiente estado.
- Información sobre la localización (**GPS**).

Con esta información, los vehículos van recibiendo las balizas y pueden calcular en base a la distancia, tiempo y estado cual es la velocidad adecuada (dentro de unos márgenes y tolerancia a error) que debería seguir el vehículo para pasar el semáforo más próximo (y si se dispone de los siguientes) si estos están en verde, o bien la velocidad máxima a la que circular si el estado es rojo, que permita encontrar el cambio de estado a verde antes de llegar a ser rebasado este.

Caso de uso seleccionado 2: Despliegue flexible señal de obras.

El objetivo es emplear las balizas para proveer mayor seguridad a los trabajos realizados en la calzada, mediante la difusión de información que permita anticipar y corregir la velocidad de conducción de los vehículos, incrementando así la seguridad de los operarios sobre la vía.

Para ello se usa una señal de tráfico de obras en la cual se emite la siguiente información:

- **Información** de la obra: como puede ser el tipo, duración de la misma o cualquiera que se considere de interés.
- **Velocidad aconsejada.**
- Información sobre la localización (**GPS**).

Con esta información, los vehículos que reciben las balizas pueden notificar a través de los diferentes medios que dispone el mismo (info-tainment, acústico, luminoso, etcétera) para que tome precaución sobre la conducción.

3. Definición del demostrador

El demostrador emplea una réplica de *cockpit* o salpicadero de vehículo, el cual ha sido cedido por la empresa FAURECIA, empresa colaboradora en el proyecto por parte de IBV, que representa la visión del usuario. Este incorpora un dispositivo de infotainment compatible con diversas tecnologías de desarrollo de aplicaciones para automóviles (Android Auto, Apple Car, etcétera) además de la capacidad de usar una Tablet o móvil que representa al equipo de usuario y que en cualquier caso actúa como receptor de radio compatible con tecnología Bluetooth.



Figura 1. Imagen de cockpit real



Figura 2. Imagen de cockpit real

Hay que hacer notar, que debido a las restrictivas políticas de las empresas Google y Apple para la generación, publicación y uso de aplicaciones que usan los dispositivos de visualización multimedia de los vehículos, se dificulta su ejecución en estos dispositivos que sean comerciales, únicamente estando disponible herramientas de emulación. Es por ello por lo que, para el demostrador se realizará la visualización de las aplicaciones o bien en dispositivos móviles, o bien usando un modo réplica o espejo de una aplicación funcional o finalmente mediante la instalación de una aplicación convencional en el dispositivo de info-tainment seleccionado.

Para ello se han elegido los siguientes equipos:

- **Tablet Samsung Galaxy Tab 8:** con radio Bluetooth compatible con BLE 5.0.
- **Móvil Samsung Galaxy S10:** con radio Bluetooth compatible con BLE 5.0.
- **Equipo radio multimedia ATOTO 6 S8:** que permite la ejecución de aplicaciones nativas Android, Android Auto, Apple Car y mirroring.

- **Monitor LCD de 7 pulgadas:** que sirve para emular un dispositivo de info-tainment y las aplicaciones que en él se ejecuta.
- **Diversas placas de prototipado Nordic NRF52840DK:** que permiten la programación a bajo nivel de aplicaciones que usan tecnología Bluetooth Low Energy 5.x.
- **Equipos RSU 5G - Codha Wireless MK6C EVK:** equipos de experimentación para la prueba de aplicaciones vehiculares con el uso de tecnología 5G. Sirven como introducción al estudio de la tecnología. El objetivo es posibilitar pruebas de laboratorio de conectividad vehículo-infraestructura.

A continuación, se muestran diferentes imágenes de los dispositivos:

Tablet Samsung Galaxy A8



Figura 3. Tablet Samsung Galaxy A8

Móvil Samsung Galaxy S10



Figura 4. Móvil Samsung Galaxy S10

Dispositivo de info-tainment ATOTO A6

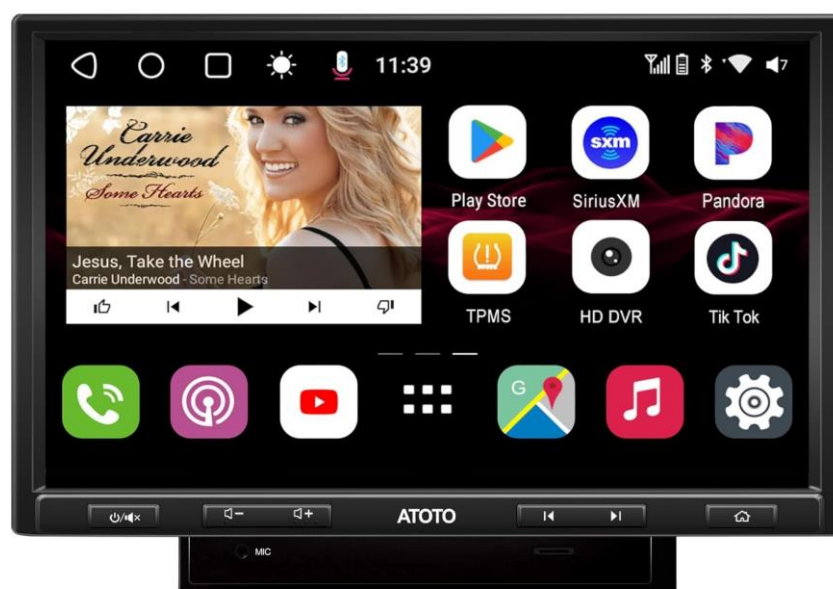


Figura 5. Dispositivo de info-tainment ATOTO A6

Monitor LCD 7"



Figura 6. Monitor LCD 7":

Equipo Codha Wireless MK6 EVK



Figura 7. Equipo Codha Wireless MK6 EVK

Por otra parte, se requieren para habilitar las balizas unas placas de prototipado que integran radio Bluetooth compatible con BLE 5.x, con una pila que permite ser configurada e implementada para dar soporte a aplicaciones de tipo balizamiento. Estas placas son de la marca Nordic Semiconductor, modelo NRF 52840DK, que incorporan además una radio cuyo firmware es programable, mediante lo que se denomina un SoftDevice.



Figura 8. Placa de prototipado Nordic NRF52840DK

Las placas de prototipado permiten desarrollar software que usa la pila Bluetooth Low Energy 5.x, además de permitir acceder a algunas características de bajo nivel que son necesarias para proporcionar la mayor robustez y alcance de las comunicaciones. Esto se realiza mediante el uso del propio SDK disponible en web para la programación de estas placas.

A nivel de software empleado se hace necesario los siguientes:

- **Android Studio:** necesario para la implementación de aplicaciones para dispositivos móviles y para el desarrollo de extensiones compatibles con Android Auto. Se trata de software libre disponible para su descarga junto con el SDK con API superior a la versión 29, que es la que tiene la mayor compatibilidad (en el momento de trabajo) con Android Auto. Permite la programación tanto en lenguaje Java como en Kotlin.
- **Segger Embedded Studio:** es un IDE que se centra en dar soporte a la programación de microcontroladores y que permite emplear SDKs de diferentes compañías y productos, entre ellos los referentes a Nordic. El IDE dispone además de herramientas para el manejo de las placas para el grabado y volcado de los programas en la memoria Flash de los dispositivos. Soporta diversos lenguajes de programación, aunque el empleado para Nordic se basa en lenguaje C.

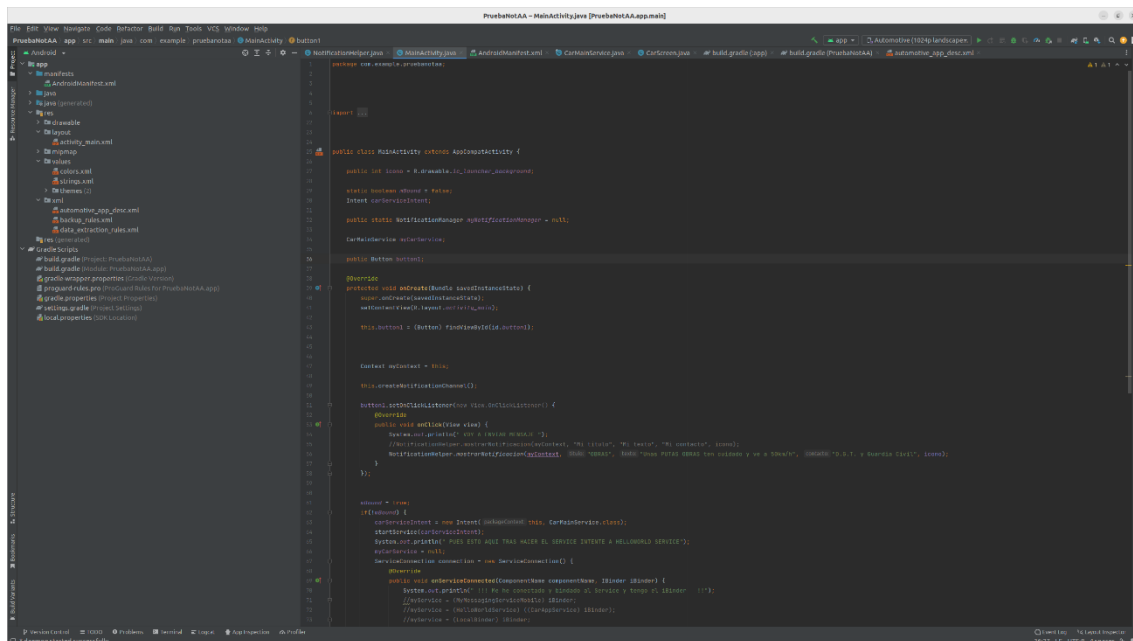


Figura 9. Android Studio

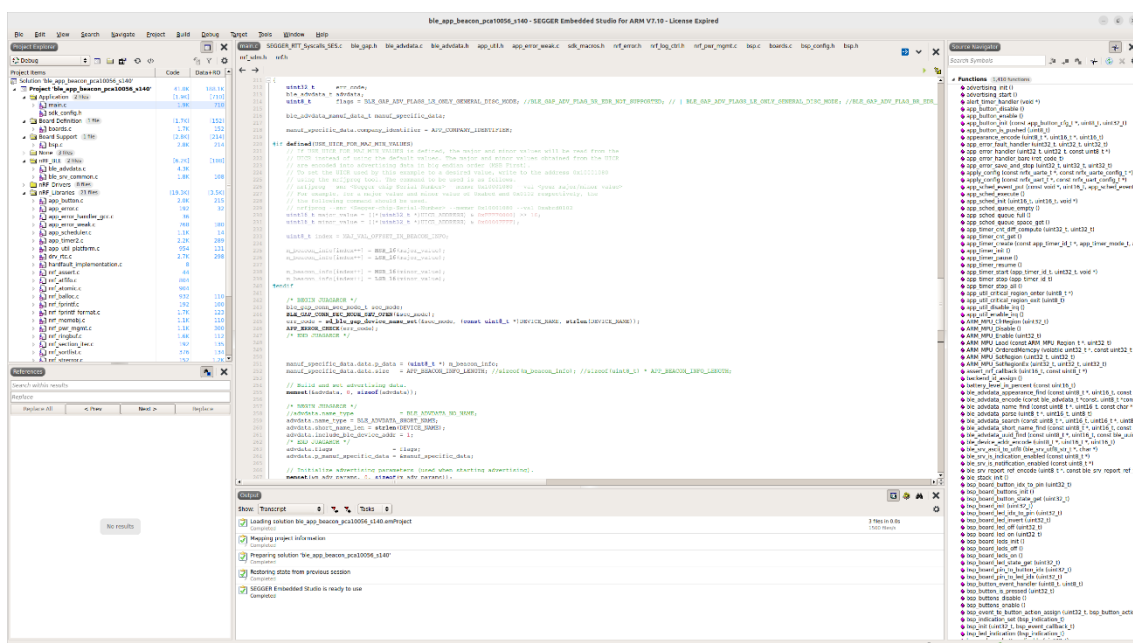


Figura 10. Segger Embedded Studio

Por último, mencionar que se ha contado con señales de tráfico reales, facilitadas por la empresa colaboradora en el proyecto Traffic Futura (Industrias Saludes), que dotan de una perspectiva más real al demostrador dado que se han implementado las balizas en ellas. En concreto se cuenta con:

- **Semáforo de 3 estados:** que dispone de tres luces a base de LEDs (rojo, amarillo, verde). El control de los estados se realiza mediante la adaptación de una pequeña placa con relés que hacen la transición en base a un valor facilitado por señal externa. Esta señal externa será la que se proporcione a través del hardware de la baliza, y permitirá sincronizar la información emitida sobre el estado con la visualizada de forma luminosa.
- **Señal de indicación de trabajos / obras con luces intermitentes de aviso:** en el que se adapta la conexión para una toma de corriente estándar. Las señales de luz intermitentes son emitidas por la propia circuitería de la señal (no se tiene control externo sobre su activación / desactivación) de forma externa.



Figura 11. Cabeza de semáforo



Figura 12. Señal de obras

4. Implementación ITI iMoLab

Laboratorio de demostración

A continuación, se detallan los diferentes elementos que forman el laboratorio de demostración y que permiten realizar pruebas y testeos de aplicaciones vehiculares en ITI.

1. Salpicadero de vehículo

Al cual se le ha integrado el dispositivo de info-tainment ATOTO A6 y se le ha fabricado una mesa de apoyo, adhoc para el mismo, de tal forma que sea posible desplazarlo y moverlo por toda la sala de demostración.



Figura 13. Demostrador – Salpicadero vehículo

2. Señales de tráfico reales (semáforo, obras y baliza V16)

A las cuales se les ha integrado una baliza operativa para poder llevar a cabo la ejecución de los distintos casos de uso. Cada baliza es activada con la propia alimentación de la señalética (semáforo y señal de obras luminosa) o bien de forma explícita como es en la activación de la baliza V16 o la baliza de tipo POI.

3. Equipos de comunicaciones

Se dispone de equipos Bluetooth Low Energy y también equipos de comunicaciones C-V2X.

En el caso de los equipos con comunicación Bluetooth Low Energy, estos se apoyan en placas de prototipado de Nordic 52840DK. El código implementado para ellas se basa en adaptar y modificar las opciones de bajo nivel que permiten configurar y operar Bluetooth en el modo robusto propuesto por ITI, y a su vez, a nivel de aplicación el desarrollo de la lógica y contenido de los mensajes. A nivel de aplicación puede configurarse la periodicidad (en aras de obtener la mejor relación entre consumo [en caso de operar a baterías], redundancia y saturación del medio) así como el propio contenido de los mensajes, ya que el contenido se almacena en formato JSON.

Por otra parte, se disponen de dos equipos RSU de evaluación de Codha Wireless que permiten probar diversos mensajes de tipo C-V2X a través de interfaz 5G. Estos equipos incorporan señal de GPS para transferir las posiciones e integran diversos programas de ejemplo para probar las comunicaciones. Además dispone de herramientas que permiten crear mensajes propios para su testeo.

Implementación de las diferentes aplicaciones demostrativas

Antes de describir las diferentes aplicaciones demostrativas que se han desarrollado en el marco del proyecto por parte de ITI, es importante detallar los casos de uso que finalmente se seleccionan para la implementación

Estos casos de uso seleccionados son:

- **Semáforo inteligente:** Se integra en un semáforo real la programación de una baliza que permite indicar la posición, el estado actual y el tiempo hacia el siguiente estado. Se aplica para informar sobre el estado y sugerir velocidades al vehículo. Caso de uso conocido como: Green Wave.
- **Señal de obras:** Se integra, en una señal de indicación de obras, una baliza que permite indicar la posición. Se aplica para alertar sobre la misma y la distancia a la que se encuentra del vehículo.
- **Señal emergencia V16:** Se integra, la programación de una baliza, en una señal de emergencia V16, con el fin de poder transmitir al vehículo la posición a la que se encuentra un vehículo averiado.
- **Información sobre POI:** Se genera una baliza con una posición y mensaje con un texto informativo a emitir (por ejemplo, información sobre precios de una

gasolinera), de tal forma que la aplicación pueda mostrarlo para el interés del usuario.

Como paso previo, se ha desarrollado un **servicio común de captura de mensajes de las balizas**, que puede ser compartido entre las diferentes aplicaciones demostrativas.

Esto consiste en un servicio que permite ser invocado por las aplicaciones que hacen uso de él, y que es capaz de escuchar los mensajes provenientes de dispositivos Bluetooth. El hecho de haberse implementado como servicio, en la terminología de Android, es que este posibilita permanecer en segundo plano. Esto es fundamental cuando es necesario realizar una escucha continua, que no debe dejar de realizarse cuando se cambia el foco de la aplicación, y también, para permitir ciertas opciones de configuración que hacen más eficiente la captura de paquetes a través de la radio del dispositivo.

Hay que hacer notar, que debido tanto a la diversidad de radios Bluetooth que se integran en los dispositivos móviles, como también de las limitaciones impuestas por los fabricantes al firmware y API de acceso al mismo (limitaciones que evitan el acceso a características avanzadas que sí soporta la radio), solamente algunos modelos actualmente permiten realizar los cambios y configuraciones necesarios para su trabajo. Este hecho limitante se irá subsanando a medida que las nuevas especificaciones del protocolo se vayan incorporando paulatinamente a los equipos, que debida a su relativa novedad (en términos de asentamiento en el mercado) todavía no se presentan. La información de los equipos de tipo teléfono móvil y Tablet (que a día de escritura de este documento) no es pública y por tanto se hace difícil determinar que equipos son los adecuados. Si es conocido que los modelos de Samsung son los que ofrecen un chip de radio compatible y accesible por software a la mayor parte de configuraciones avanzadas.

Por tanto, el servicio captura los paquetes que recibe y es capaz de filtrarlos, actualmente por dirección física de red de las placas de la baliza, para pasarlos a la capa de aplicación. Además, si el paquete proviene de una dirección física conocida, realiza un análisis del contenido del mensaje del mismo, estructurando en los campos necesarios para su interpretación. Si esta es correcta, el mensaje es facilitado a través de una llamada *callback* hacia la aplicación. El mensaje facilitado a la aplicación es encapsulado en un objeto que ofrece diversas interfaces para el acceso a los campos y conocer la validez del mismo.

Además, en el caso de las balizas, también se comparten el mismo formato donde se permite comunicar además de la posición en coordenadas GPS de la baliza, los datos referentes a cada caso de uso. Las coordenadas GPS al ser transmitidas y posteriormente procesadas en recepción permitirá hacer las mediciones necesarias para calcular las distancias entre el vehículo y las propias balizas. Así pues, cada baliza genera un mensaje en formato JSON con el siguiente estilo:

```
{ "msg":2, "txt":"Semaforo cercano ", "clr":1, "tm":12, "max":20, "alt":"Modere la velocidad,
semáforo cercano ", "lat":1500.0, "lon":200.0 }
```

El contenido, similar entre los diferentes tipos de balizas, incluye información sobre el tipo de mensaje, texto, coordenadas, además de la información particular del propio tipo de baliza.

Además, este servicio es compartido para cualquier tipo de aplicación, de tal forma que facilita crear diferentes tipos y versiones.

Tras el desarrollo del software común, se han desarrollado una serie de aplicaciones demostrativas, que permiten mostrar las capacidades y los potenciales usos que puede ofrecer la tecnología para los diferentes casos de uso seleccionados.

1. Aplicación demostrativa general para dispositivo móvil para el caso de uso de semáforo y señal de obra

Se trata de una aplicación para dispositivo móvil que permite a través de su interfaz recibir y alertar sobre las balizas recibidas, tanto de un semáforo inteligente como de una señal de trabajo en carretera. En la pantalla del dispositivo móvil se indica tanto gráfica como visualmente la detección de estas balizas. Para ello, la aplicación se divide en dos secciones, una para mostrar la información de balizas relativas al semáforo inteligente, y otra referente a las señales de obra.



Figura 14. Interfaz de la aplicación en teléfono móvil

Además, esta aplicación tiene habilitada una extensión al ser conectada a un dispositivo con Android Auto. De esta forma, una vez enlazado el dispositivo móvil con el info-tainment del vehículo, aparecerá disponible la aplicación correspondiente.

Si bien es cierto que, debido a las restricciones impuestas por Google, en materia tanto de diseño, como de estética y funcionalidad de la aplicación, que exigen un estricto proceso de verificación y validación (en las que actualmente son pocas las aplicaciones [y de grandes corporaciones] que lo hacen), únicamente se han podido mostrar en emulador. Esto es debido a que, en un dispositivo comercial no es posible ejecutar aplicaciones que no pasen este proceso. En cambio, mediante el uso del emulador, si que es posible ejecutar cualquier tipo de aplicación que tenga implementada el soporte a Android Auto.

A continuación, se muestra en el interfaz de Android Auto dos secciones, una dedicada a mostrar la información de balizas de semáforo y otra de señales de obra.

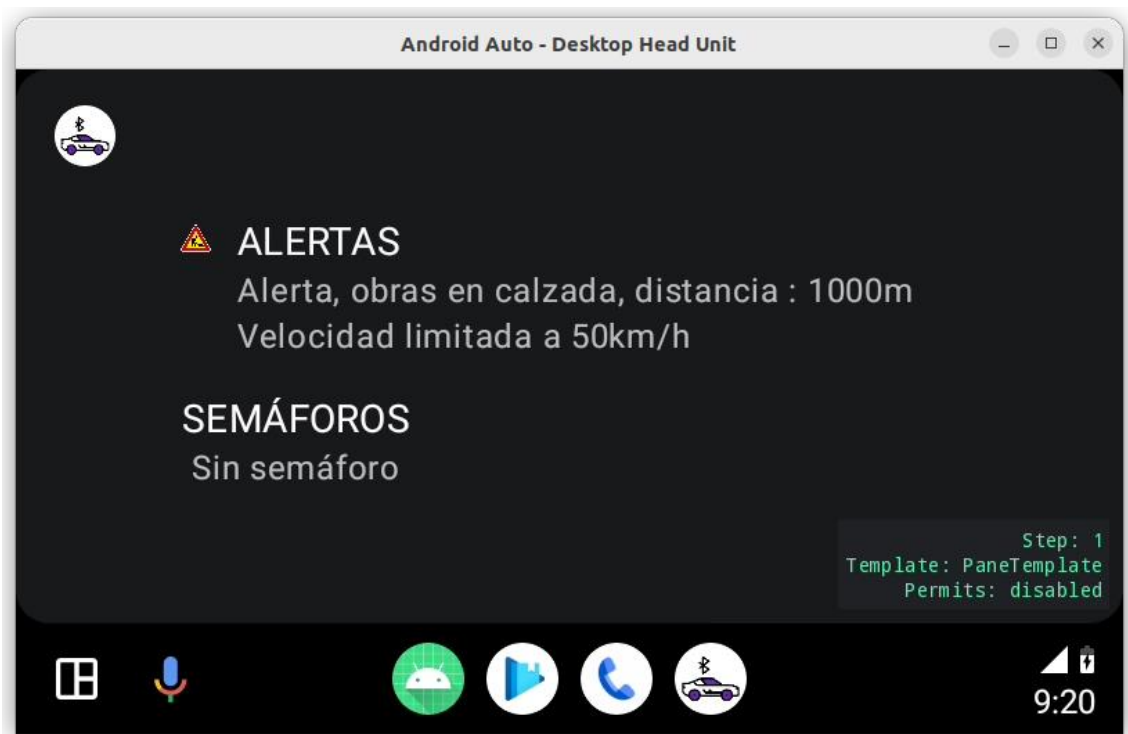


Figura 15. Interfaz Android Auto

Se ha de tener en cuenta que, para la implementación, las aplicaciones que quieren dar soporte a Android Auto deben separar su funcionamiento en la implementación de un servicio que es invocado a la carga de la aplicación. Este servicio hace disponibles los elementos habilitados para las interfaces y capacidades del info-tainment que, en síntesis, limitan en gran medida las capacidades de una interfaz de aplicación estándar, además, gestionando una vida de aplicación diferente, limita mucho más en

cuanto a la cantidad de información, así como a la capacidad de refresco de la misma. Además, deben realizarse diferentes declaraciones en el fichero de “manifiesto” para indicar que la aplicación es compatible con Android Auto.

A nivel de implementación, ya de la aplicación de dispositivo móvil, esta sigue un patrón simple en la cual la vida de la misma se gestiona en torno a una única pantalla o vista, que va recibiendo los eventos del módulo de captura de mensajes de las balizas compartido. El bucle principal del programa comprueba si hay balizas recibidas y estas son válidas y actualiza los componentes visuales de la aplicación, tanto en la pantalla a visualizar en el teléfono móvil como en la pantalla del dispositivo info-tainment.

2. Aplicación demostrativa para congreso de caso de uso de semáforo inteligente Green Wave

Esta aplicación, basándose en el modelo de trabajo y funcionamiento anterior, optimiza el interfaz gráfico para una visualización en una Tablet. Esta aplicación básicamente recorta la funcionalidad en materia de detección de balizas provenientes de la señal de indicación de obras para solo centrarse en la visualización de balizas provenientes del semáforo. Además, se añade lógica para el cálculo de la velocidad adecuada que permitirá al vehículo no detener completamente la marcha, siguiendo la filosofía Green Wave. Este diseño se realizó a medida de cara a su muestra en la feria *Expo eMobility World Congress 2023* de Valencia.



Figura 16. Demostrador global en feria.



Figura 17. Interfaz usuario.

En las figuras, se muestra de una forma gráfica, una demo de una posible aplicación comercial especialmente diseñada para el caso de uso, y que podría prestar un interfaz similar en el dispositivo de info-tainment del vehículo en caso de implementarse para él. Para mejorar la estética gráfica se emplea una tablet que permite definir un interfaz gráfico con un mayor tamaño de textos y más espacio en pantalla para mostrar imágenes.

La implementación de la aplicación, desarrollada en Android, utiliza el servicio de captura de paquetes Bluetooth Low Energy y los objetos que encapsulan los mensajes de las balizas. El bucle principal comprueba la recepción de nuevas balizas (únicamente de tipo semáforo) y actualiza el contenido de los diferentes elementos de la pantalla: gráfico con el color de estado actual del semáforo, cuanta atrás, distancia al objeto, además de usar un algoritmo que estima la velocidad adecuada para pasar el semáforo (tanto en verde como rojo) siempre y cuando sea una velocidad de tránsito coherente.

Para facilitar la simulación del movimiento del vehículo se han integrado diferentes botones que permiten incrementar o decrementar una velocidad simulada. Esto permite “avanzar” la posición del vehículo y de este modo comprobar el funcionamiento del estimador de velocidad recomendada que presenta el objetivo del caso de uso de este demostrador.

3. Aplicación demostrativa optimizada para dispositivo de info-tainment para los casos de uso semáforo inteligente, señal de obras, baliza V16 y POI

Finalmente, esta aplicación sigue basándose en el molde de trabajo y funcionamiento anterior, por lo que utiliza el equipo info-tainment instalado en el cockpit demostrativo, de tal forma que se muestra una apariencia real de una aplicación totalmente integrada en el dispositivo. Esta aplicación se compone de una vista a pantalla completa donde se muestra un mapa de navegación de carácter público y gratuito como OSMMMap, aunque podrían integrarse otros de pago o suscripción como Google Maps, y en donde se simula el tránsito de un vehículo por medio de la definición de una serie de puntos de paso mediante coordenadas latitud, longitud. Así mismo, las balizas emiten la posición y el tipo de la misma y son recibidas por el dispositivo.

La aplicación es capaz de dar soporte a los siguientes tipos:

- **Semáforo inteligente:** sigue una analogía al desarrollado para el eMobility World Congress 2023, donde se muestra la cuenta para el cambio y el estado del semáforo, además de la distancia y si es posible, la velocidad sugerida de cruce. Este tipo de baliza tiene un marco de pantalla especialmente dedicado para ser mostrada.
- **Despliegue de obras:** se muestra información relativa a obras en carretera, con la distancia y un marco resaltado para atraer la atención del usuario. Al igual que el semáforo, dispone de su propio marco en la pantalla.
- **Baliza V16:** se integra dentro de una señal luminosa de emergencia V16, que además emite información sobre el estado. En este caso se muestra en el mapa un distintivo alertando sobre la situación.
- **Baliza POI:** permite enviar información sobre una gasolinera indicando información del estado de los precios al momento.

La aplicación, al igual que las anteriores, ha sido desarrollado en Android, ya que el dispositivo permite la instalación de este tipo aplicaciones en el mismo. El diseño final se muestra en las siguientes imágenes.



Figura 18. Ejemplo de cómo la aplicación muestra un semáforo inteligente en rojo y una alerta por obras



Figura 19. Ejemplo de cómo la aplicación muestra un semáforo inteligente en verde y sin alerta por obras



Figura 20. Ejemplo de cómo la aplicación muestra que existe un coche averiado en la calzada

La aplicación demostrativa está pensada para su ejecución de forma continua, detectando las balizas cuando estas son activadas (y obviamente están en rango de recepción). Hace uso del servicio de captura de paquetes y del objeto que encapsula los mensajes. Debido a las características del demostrador, se ha implementado las siguientes características:

- **Posibilidad de obtener la localización del vehículo por GPS o de forma “manual”:** debido a que la mayor parte del tiempo el demostrador permanecerá en un lugar cerrado se permite fijar una posición inicial en base a coordenadas para el mismo. Si el demostrador fuese llevado al exterior podría usar las capacidades de geolocalización del dispositivo para obtener las coordenadas del mismo.
- **Posibilidad de “simular” movimiento:** si se usa una posición manual se permite, para aparentar movimiento del vehículo, establecer una trazada de tránsito a través de una serie de coordenadas.
- **Posibilidad de usar coordenadas “manuales” para las balizas:** al igual que ocurre con el *cockpit* del vehículo, las balizas demostrativas estarán emplazadas por regla general en interior por lo que las localizaciones emitidas por estas no “representan” un lugar real. De este modo se permite fijar una serie de posiciones simuladas que faciliten su vista en la aplicación

Independientemente de la fuente de obtención del posicionamiento, y en base a la información de esta, el bucle principal de la aplicación comprueba la recepción y validez de las balizas recibidas y dependiendo del tipo realiza:

- **Baliza de tipo semáforo:** añade en el marco del mapa un icono que muestra su ubicación. En el marco destinado a la información del semáforo actualiza el color, cuenta, distancia y si es posible la velocidad recomendada.
- **Baliza de tipo alerta:** añade en el marco del mapa un icono que muestra su ubicación. En el marco destinado a la información de alerta muestra un gráfico con el tipo de señal, la distancia a la baliza y un mensaje de precaución. Además, se emite un sonido de alerta.
- **Baliza de V16:** actualiza en el mapa la posición de la baliza junto con un mensaje de precaución. Además, se emite un sonido de alerta.
- **Baliza de tipo POI:** añade en el marco del mapa un icono que muestra su ubicación junto con el contenido del mensaje emitido por el Point of Interest (POI).

Un ejemplo del diseño de la vista del demostrador es el siguiente (en versión para dispositivo móvil [a través de emulador]).

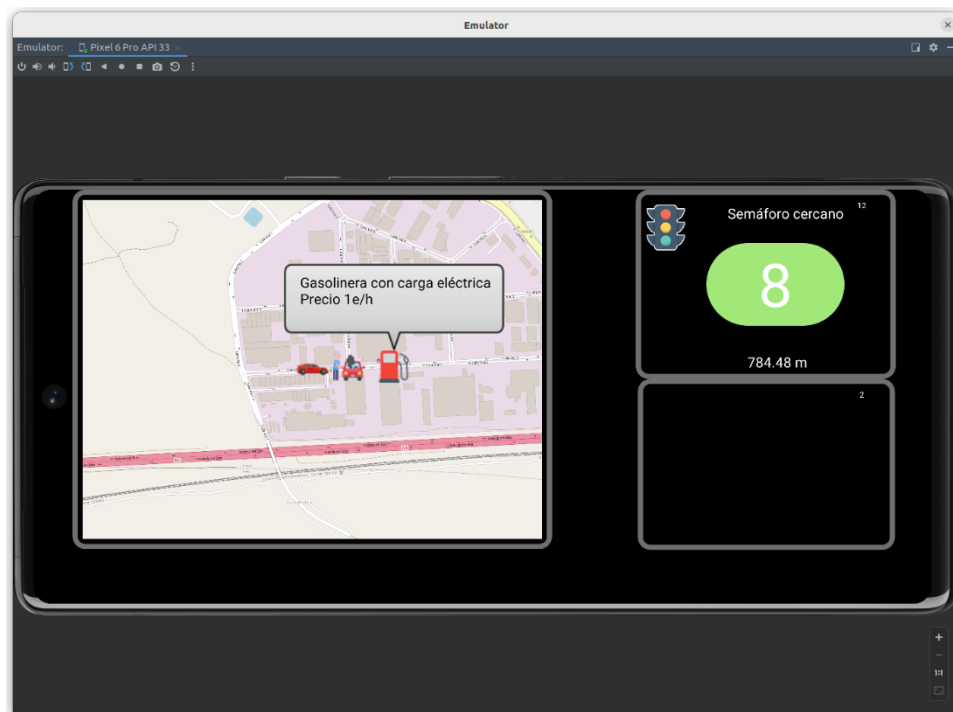


Figura 21. Diseño de la vista del demostrador

De tal manera que, se ha de tener en cuenta que, el bucle principal actualiza periódicamente la posición del vehículo y hace un “repintado” del mapa centrando la posición del vehículo con respecto a este, de tal forma que en caso de movimiento (real o simulado) se aparenta la circulación del mismo de igual forma a las aplicaciones de navegación.

Por última, destacar que, la aplicación, en su parte visual, se ha diseñado específicamente para un dispositivo móvil de tipo teléfono en visualización apaisada y para el dispositivo de info-tainment ATOTO A6, es por ello por lo que, distintos modelos, características o vistas pueden no representar los componentes visuales de forma correcta.



www.imolab.com

Proyecto ejecutado por:



Con la financiación de:

