GETM

GESTIÓN ELECTRÓNICA Y TRACKING DE MERCANCÍAS

E.5.2. Desarrollo del demostrador, pruebas de campo y conclusiones

Control de Cambios

Versión	Fecha	Realizado por	Acciones Realizadas
0.1	1/08/2015	GIE	Daniel Narbona. Inicio del documento
1.1	31/08/2015	GIE	Eduardo Hidalgo. Revisión
1.2	07/09/2015	GIE	Aportaciones Ultrasonidos y revisión

ÍNDICE

1. Introducción....4
2. Resultados y Pruebas de Campo....4
2.1. Resultados de las pruebas sobre los instrumentos de medidas....4
2.1.1. Dispositivo interno....5
2.1.2. Dispositivo exterior....6
2.1.3. Comunicación por ultrasonidos....7
2.2. Resultados red inalámbrica y GPS....8
2.3. Resultados aplicación web....10
3. Mejoras del sistema....11
3.1. Mejora de los dispositivos de medidas....11
3.2. Mejoras de la red inalámbrica y GPS....12
3.3. Mejoras aplicación web....12
4. Demostrador del Sistema GETM....13
4.1. Montaje de los instrumentos de medidas....13
4.1.1. Montaje dispositivo interno....13
4.1.2. Montaje dispositivo externo....15
4.2. Montaje de la red inalámbrica....16
4.3. Montaje GPS....17
4.4. Montaje de las distintas partes que conforman GETM....18
5. Conclusiones y líneas futuras....23

1. Introducción

Este entregable se centra en el montaje y funcionamiento de demostrador, del cual se ha obtenido información valiosa para demostrar la viabilidad del sistema diseñado.

En la primera parte del documento se recogen los resultados realizado sobre el sistema de tracking mercancías, una vez que se han implementado todos los elementos que lo componen y simulando el funcionamiento real que tendría en un patio de contenedores.

En la segunda parte del texto se comentan las limitaciones y mejoras del sistema, obtenidos tras el análisis de los datos obtenidos tras la implementación del sistema completo.

Seguidamente se aborda en el entregable el montaje del sistema. Se ha recogido en detalle tanto el montaje de los dispositivos por separado, como del sistema completo que se ha realizado para el demostrador. Por último, se comenta brevemente el futuro del proyecto GETM, y los logros que deben alcanzarse para lograr su implementación en el mundo logístico de mercancías.

La finalidad del documento además de mostrar los resultados y el montaje de sistema completo de tracking de mercancías, pretende poner de manifiesto el avance que supones el proyecto en temas logísticos, tras haberse obtenido unos resultados satisfactorios, a pesar de las limitaciones existentes y las posibles mejoras, que se podrán llevar a cabo en futuras versiones del producto diseñado.

2. Resultados y Pruebas de Campo

En este apartado se recogen los distintos resultados obtenidos en las diferentes partes que conforman el sistema de gestión y tracking de mercancías, tras la integración de todas las partes y probando el funcionamiento real en campo.

2.1. Resultados de las pruebas sobre los instrumentos de medidas

Los instrumentos de medidas que se han instalado en el contenedor se componen de un dispositivo interno y otro externo, los cuales se explican y se muestran los resultados en los sucesivos apartados. Dentro de

esta sección también se analizan los resultados obtenidos en la comunicación por ultrasonidos que comunica ambos dispositivos.

2.1.1. Dispositivo interno

El dispositivo interno es el encargado de la adquisición de medidas en el interior de contenedor. Dichos dispositivos como ya se ha explicado en entregables anteriores poseen varios de sensores que miden una serie de magnitudes en el interior del contenedor, además de elementos de alarmas que informan en caso de una intrusión en el mismo. A continuación se muestran las pruebas que se han realizado y los resultados obtenidos.

Pruebas Dispositivo Interno		
Prueba	Descripción	Resultado prueba
Adquisición de temperatura	Medida de la temperatura expresada en grados Celsius en el interior de contenedor. Se han medido los valores de temperatura por otros medios y coinciden con los adquiridos por el dispositivo interno.	Superada
Adquisición de luminosidad	Medida de luminosidad expresada en lux en el interior de contenedor. Se han comprobado que los resultados obtenidos son coherentes a las situaciones provocadas. Por ejemplo, cuando el contenedor se encuentra cerrado se obtienen 0 lux.	Superada
Adquisición de humedad	Medida de humedad expresadas en tanto por cien en el interior del contenedor. Los resultados obtenidos por el dispositivo, son similares a los adquiridos con un higrómetro.	Superada

Periodicidad	Se han realizado medidas periódicas. Se ha establecido una periodicidad de 1 hora, es decir, cada dicho tiempo se han adquirido las medidas de todos los sensores del sistema.	Superada
Detección apertura de puertas	Se han realizado diversas apertura de las puertas del contenedor, recogiéndose correctamente los distintos estados de la puerta (abierta o cerrada)	Superada
Detección de golpes y caída	En el laboratorio se han recogido datos al producir un golpe o caída del dispositivo interno. Dichas pruebas no se han podido realizar sobre el sistema ya montando en contenedor por falta de infraestructuras para llevarlas a cabo.	Superada
Detección de movimiento	Se ha detectado correctamente tanto la ausencia como la presencia del movimiento en el interior del contenedor.	Superada
Marca de tiempo	Se enviado correctamente junto con las medidas adquiridas, una marca de tiempo del instante en el éstas fueron tomadas.	Superada

Tabla 1. Pruebas dispositivos internos

2.1.2. Dispositivo exterior

El dispositivo exterior almacena los datos enviados por el dispositivo interior y los vuelca sobre la red inalámbrica del sistema. Dichos dispositivo tiene la capacidad de almacenar las últimas 200 tramas enviadas por el dispositivo interior (cada vez que se envía una trama es borrada de la memoria interna del dispositivo externo), cada trama contiene una medida de cada uno de los sensores que se encuentran en el interior del contenedor, así como una marca de tiempo e información adicional. En la siguiente tabla de muestran los resultados obtenidos del dispositivo interior

Pruebas Dispositivo Externo		
Prueba	Descripción	Resultado prueba
Recepción de datos del dispositivo interno	El dispositivo externo recepciona correctamente los datos recibidos del dispositivo.	Superada
Comunicación con la red inalámbrica	El dispositivo externo se comunica correctamente con la red inalámbrica	Superada
Almacenamiento de datos	El dispositivo externo almacena correctamente los datos obtenidos del dispositivo interno.	Superada
Envío de datos tras un estado de desconexión del dispositivo externo de la red	Se ha desconectado la pasarela mientras que el sistema de adquisición se ha mantenido activo, tras la conexión de la pasarela las últimas tramas que no se han enviado por falta de comunicación han sido enviadas correctamente por el dispositivo externo.	Superada

Tabla 2. Pruebas dispositivos externos

2.1.3. Comunicación por ultrasonidos

A partir de la implementación del sistema de transmisión/recepción empleando el modelo de transductor 400EP250 del fabricante Prowave, los resultados experimentales que se obtuvieron (transmitiendo una señal modulada BPSK a 40 KHz de portadora) fueron los siguientes:

- Ante una excitación desde el nodo interno igual a 3.3 Vpp la amplitud de la señal recibida está en torno a 8-10 mVpp, la cual resulta en una amplitud de aproximadamente el doble a la conseguida con el transductor previamente elegido.

- El ancho de banda resultante es de unos 8 KHz, mayor al obtenido con el transductor previo (5 KHz), lo que supone una ventaja en cuanto a la capacidad del sistema de aumentar su tasa de datos en el caso de que fuese requerido.

- La señal de salida del transductor en el lado receptor muestra una respuesta menos ruidosa para la versión de la etapa de amplificación basada en amplificador en tensión.

Por otra parte, las principales dificultades a la hora de integrar el sistema de transmisión/recepción basado en ultrasonidos en el sistema completo han sido las siguientes:

- La necesidad de una ganancia en torno a un factor de 300 conlleva un incremento del nivel de ruido, el cual provocaba que no se demodulasen todos los datos de manera fiable y, por tanto, se haya tenido que rediseñar la etapa de amplificación del receptor con el objetivo de reducir este ruido.

- La instalación de los transductores resulta más compleja que la prevista inicialmente, debido a que dependiendo de la disposición de éstos en el metal, la frecuencia de transmisión máxima varía en torno a 40 KHz varias décimas de KHz. Este efecto supone una atenuación en el metal variable para una frecuencia fija de 40 KHz. Para mejorar esta limitación, se propone, como línea futura de investigación, implementar una etapa de amplificación ajustable con el objetivo de optimizar la potencia transmitida a costa de aumentar la complejidad del *front-end* del receptor.

No obstante, con el diseño presentado a la finalización del proyecto se han obtenido unas especificaciones por encima de las de la mayoría de los trabajos de investigación estudiados, en cuanto a ancho de banda para aplicaciones de bajas tasas de transmisión y en cuanto a bajo consumo. Esto es debido a que la mayoría de estos trabajos implementan una excitación del transductor en el lado transmisor del orden de decenas de voltios (a diferencia de los 3.3 V empleados en este trabajo), lo que supondría para nuestra aplicación un consumo de energía inviable en el interior del contenedor.

2.2. Resultados red inalámbrica y GPS

Las pruebas de validación en campo de la red inalámbrica se resumen en la correcta comunicación entre los

distintos elementos de la red. Además en este apartado se incluye las pruebas de funcionamiento del GPS.

En la Tabla 3 se recogen las distintas pruebas realizadas a la red inalámbrica

Red Inalámbrica		
Prueba	Descripción	Resultado prueba
Comunicación con los nodos de adquisición	La red de comunica correctamente con todos los nodos del demostrador.	Superada
Conexión de un nuevo dispositivo de adquisición	Cuando se conecta un nuevo nodo a red, este es detectado sin ningún tipo de problemas	Superada
Reconexión de un dispositivo de adquisición	Cuando se produce una desconexión de algunos de los nodos, éste se vuelve a reconectar a la red correctamente.	Superada
Cobertura	Se han comprobado que todos los nodos tienen cobertura en el patio en el cual se ha llevado a cabo el demostrador.	Superada
Convivencia con otras redes inalámbricas	La red inalámbrica ha convive sin ningún tipo de incidencia con otras redes inalámbricas del entorno del demostrador.	Superada

Tabla 3. Pruebas red inalámbrica

Seguidamente se muestran los resultados del módulo GPS obtenidos de las pruebas al sistema completo.

Pruebas GPS

Prueba	Descripción	Resultado prueba
Posición	El GPS ha enviado la posición correctamente durante toda la duración de las pruebas	Superada
Actualización posición	La posición del GPS se ha actualizado cada 15 minutos, recogiendo valores acorde con la precisión del mismo.	Superada

Tabla 4. Pruebas GPS

2.3. Resultados aplicación web

A continuación se recogen los resultados obtenidos de la aplicación web utilizada para el demostrador. Pese a que para el demostrador se han instalado dos nodos de adquisición en el mismo contenedor, la aplicación entiende que cada dispositivo se instala en un único contenedor, por tanto, a pesar que sólo tenemos un contenedor con dos dispositivos, en la aplicación figuran dos contenedores. Por ello, en la siguiente tabla se hará referencia a dos contenedores a pesar que físicamente son el mismo.

Pruebas Aplicación Web		
Prueba	Descripción	Resultado prueba
Detección de los contenedores conectados al sistema	La aplicación detecta correctamente en número de contenedores que se encuentran conectadas el sistema de GETM.	Superada
Detección y representación de la posición de los contenedores	La aplicación recoge correctamente la posición del GPS, y la representa sobre el mapa.	Superada

Filtrado se elección de contenedores	La aplicación permite el filtrado de contenedores indicando ciertas características de los mismos.	Superada
Representación de los datos	La aplicación representa numéricamente todos los datos recogidos de los distintos contenedores.	Superada
Histórico de datos	La aplicación posee un histórico de los datos que han sido tomados en cada uno de los contenedores.	Superada
Actualización de datos	Los datos de la aplicación se van actualizando constantemente.	Superada

Tabla 5. Pruebas aplicación web

3. Mejoras del sistema

Tras el desarrollo y la realización de pruebas del sistema de tracking de mercancías diseñado, se han obtenido unos resultados muy satisfactorios, sin embargo, se proponen una serie de líneas futuras de investigación que podrían mejorar aún más el rendimiento del sistema. Se debe entender que pese a que el sistema fabricado es funcional aún se trata de un prototipo.

3.1. Mejora de los dispositivos de medidas

Una de las posibles limitaciones que presentan los dispositivos de medidas tienen limitado el número de tramas que se almacenan en aquellos que casos que se pierda la conexión con la red inalámbrica. Decimos “posibles limitaciones” porque en la pruebas realizadas nunca se ha alcanzado dicho límite, pero podría darse el caso de un viaje largo en el que se perdiese la cobertura de la red inalámbrica, en cuyo caso podría ser necesario contar con una memoria de mayor tamaño con el fin de no perder ninguna trama. Cada dispositivo puede almacenar las 200 tramas más recientes, cada una de estas mediadas incluye una medida de cada uno de los sensores de los dispositivos internos. Una vez volcada una trama a la red, ésta es eliminada de la unidad de almacenamiento del dispositivo en el cual se encontraba.

A nivel hardware se recomienda el rediseño de las PCB, debido a que el cierre de las envolventes en ocasiones es dificultoso. Pese al sobrecoste, se podría fabricar PCB con capas intermedias que permitirían disminuir el tamaño de las actuales.

Uno de los aspectos más importantes a continuar investigando es la transmisión de datos por ultrasonidos, ya que se trata de una técnica muy novedosa y con mucho potencial a la vez que aplicabilidad al transporte de mercancías seguro. Durante la realización del proyecto ya se ha realizado una primera implementación del sistema ultrasónico y se han logrado realizar envíos a través de planchas metálicas, sin embargo, debido a las dificultades que han surgido durante la etapa final del proyecto, no ha sido posible implementar dicha tecnología en los dispositivos de campo.

3.2. Mejoras de la red inalámbrica y GPS

En cuanto a la red inalámbrica cabe comentar que, si bien el área de cobertura es elevado, están siendo emergentes los sistemas que cuentan con transceivers de la misma tecnología (IEEE802.15.4) a unas frecuencias menores (169MHz) o a la misma frecuencia pero con una nueva capa física lo cual supone un aumento considerable de la cobertura de los concentradores, aunque también supone en algunos casos un aumento del consumo de potencia.

En cuanto al sistema de posicionamiento, pese a la buena respuesta del GPS en cuanto a localización y precisión, se propone el filtrado aquellas posiciones que sean adquiridas cuando el contenedor se encuentre en reposo, ya que durante las pruebas se han obtenido pequeños desplazamientos cuando éste se encontraba en una posición fija.

3.3. Mejoras aplicación web

Una de las posibles mejoras de la aplicación web deberá consistir en la agilización de la recepción de datos, y la representación de los mismos.

Se propone también una nueva presentación de datos históricos, más intuitiva para el usuario.

Por último, se debería de compatibilizar las aplicación con los principales navegadores existentes hoy día en

el mercado. Debido a que únicamente en el navegador Chrome se pueden visualizar correctamente todas las opciones de la aplicación.

4. Demostrador del Sistema GETM

En este apartado se recoge el montaje de las distintas partes que conforman el sistema GETM.

Se comenzará con un análisis del montaje de los distintos elementos y se finalizará con la descripción de la integración del sistema completo.

4.1. Montaje de los instrumentos de medidas

Los instrumentos de medidas constan de en dos dispositivos interconectado, denominados dispositivos interno y externo.

4.1.1. Montaje dispositivo interno

El dispositivo interno se compone de dos envolventes, la mayor de ellas es en la que se encuentran el microcontrolador encargado de gestionar la adquisición medidas y la comunicación con el dispositivo externo. Y una envolvente de menor tamaño, es en la que se encuentra el sensor de movimiento, el sensor magnético para la apertura de puertas y el sensor de humedad-temperatura, ambas envolventes de pueden observar en la siguiente ilustración.

Ilustración 1. Dispositivo interno

La envolvente que se muestra a la derecha en la Ilustración 1, además del PCB contiene las baterías de 3.7V que alimenta a todos los elementos de este dispositivo. La envolvente más pequeña se comunica con la mayor mediante una unión cableada. La envolvente más pequeña aloja en su interior los sensores de humedad, temperatura, movimiento y magnético.

La ubicación la envolvente mayor está determinada por la posición del dispositivo externo, debido a que el cable que une ambas debe pasar a través de la junta de la puerta del contenedor y posee una longitud limitada (esto sustituye a la comunicación ultrasonidos, probada en laboratorio aunque no implementada en el sistema final). La envolvente más pequeña, que aloja el sensor de puerta debe estar alineada con el imán que activa dicho sensor, de forma que al abrir la puerta ambos elementos se separen y el sensor capte la ausencia del campo magnético, lo que dará origen a la creación de una alarma.

También cabe destacar el medio de fijación de las distintas envolventes al contenedor. En este caso se han utilizados fijaciones magnéticas a través de imanes de neodimio. Esto ha evitado la necesidad de dañar o modificar el contenedor taladrándolo o soldando dispositivos de anclaje o la necesidad de utilizar elementos adhesivos, los cuales pueden bajar su rendimiento por las condiciones de humedad y salinidad a las que

estarán expuestos. Además el uso te imanes de neodimio permite, además de una fijación robusta y fiable la posibilidad de instalar/desinstalar los dispositivos tantas veces como se desee. Esto aplica también para el dispositivo externo, el cual se detalla a continuación.

4.1.2. Montaje dispositivo externo

El dispositivo externo se compone de una PCB con un microcontrolador y una memoria EEPROM integrada, sobre la cual se instala el transceptor que permite la comunicación con la red inalámbrica. Para alimentar el dispositivo se dispone de una batería de Ion–litio de 3.7 V.

A la hora del montaje se tendrá que tener en cuenta que la envolvente externa se encontrará en el exterior de contenedor, pero cerca de la interna, tanto si se utiliza una unión cableada como si se hace uso de la transmisión por ultrasonidos. En el segundo de los casos bastará con que ambos transceptores de ultrasonidos se encuentre enfrentados pero en distintos lados del metal.

Ilustración 2. Dispositivo externo

El dispositivo externo ha sido colocado de forma que la antena se encuentre en posición vertical, debido a que la polarización en dicha posición se mejora la trasmisión inalámbrica. El cambio de la orientación de la antena no implica que la comunicación inalámbrica no sea efectiva, sin embargo, disminuye el rendimiento.

En la Ilustración 2, también se puede observar que la envolvente se encuentra cerca de las barras de cierre de la puerta, con la idea de simular una instalación real, en la que las barras sirvan de protección de la envolvente ante impactos o golpes con algún agente externo.

4.2. Montaje de la red inalámbrica

La red inalámbrica se compone de una pasarela, un coordinador y varios módulos de transmisión y recepción que se han instalado en los distintos instrumentos de medidas y en el módulo GPS:

Tanto el coordinador como la pasarela se encuentran en una misma envolvente, cuyo montaje ha consistido en conectar la toma de alimentación de la envolvente a la red eléctrica mediante un transformador, debido a que el dispositivo debe alimentarse a una tensión de 5V en continua. Además se ha utilizado un cable para redes LAN, para conectar la pasarela a través de internet con la base de datos online creada para el proyecto.

Por otra parte, se tienen los módulos receptores y transmisores inalámbricos, los cuales se han instalados en los distintos instrumentos de medidas y en el módulo GPS. Dichos módulos son alimentados a través de los dispositivos en las cuales se han instalado. En la Ilustración 3 se muestra el transceptor inalámbrico instalado en un dispositivo externo.

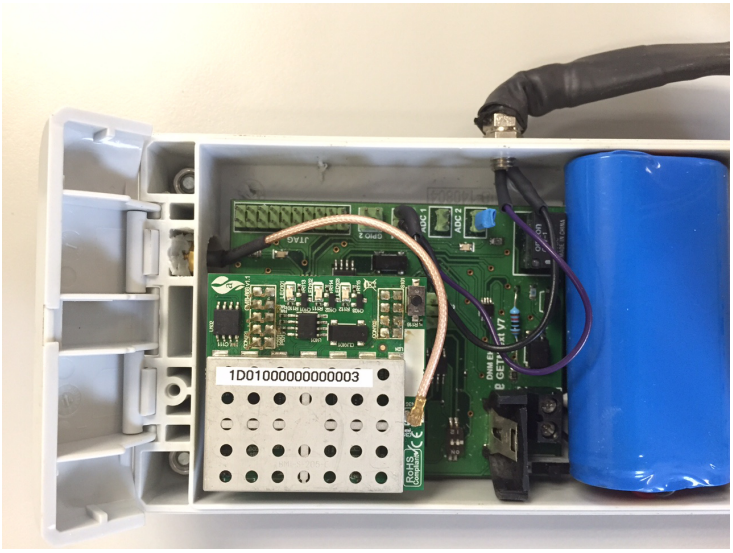

Ilustración 3. Transceptor de ultrasonidos instalado en un dispositivo externo

4.3. Montaje GPS

El dispositivo GPS se ha conectado con al coordinador de forma inalámbrica al igual que los instrumentos de medida. Dicho dispositivo se alimenta con una batería de Li-$SOCl_2$ de 3.6V.

Ilustración 4. GPS

Como se puede observar en la ilustración, el módulo GPS se compone de una envolvente y de un receptor de señal GPS. Dicho receptor se ha posicionado en el exterior, con el fin de lograr una buena sincronización con la señal GPS. En el interior de la envolvente de encuentran las unidades de procesamiento de la señal GPS y la unidad de comunicación con la red inalámbrica.

4.4. Montaje de las distintas partes que conforman GETM

El emplazamiento elegido para el montaje del sistema de gestión de mercancía ha sido el patio interior de los laboratorios de la escuela de ingenieros de Sevilla, en la Isla de la Cartuja. En la Ilustración 5 se muestra con un círculo rojo el contenedor que se encuentra en dicho emplazamiento y que se ha utilizado para el demostrador.

Ilustración 5. Emplazamiento elegido para la instalación del demostrador

Dos de los tres instrumentos de adquisición de medidas fabricados se han instalado en el contenedor de aproximadamente 12 metros, que se encuentran en la ubicación comentada anteriormente. Cada instrumento dispone de dos dispositivos uno interno para la medición de distintas magnitudes como ya se ha explicado, y uno externo para la comunicación con la red inalámbrica del sistema.

Los dispositivos internos se han instalado en el interior de contenedor, el cual ha permanecido cerrado durante más de una semana. Se han realizada aperturas periódicas a los largo de dicho intervalo de tiempo para comprobar que los distintos sensores se encontraban registrando datos correctos, y para verificar el correcto funcionamiento de la alarma de apertura de puerta y movimiento.

Los dispositivos externos se han instalado en el exterior del contenedor, sobre las puertas de éste, como se puede comprobar en la Ilustración 6.

Ilustración 6. Posición de los dispositivos externos

Se han seleccionado las envolventes modelo 140804 del fabricante Bopla para albergar los distintos dispositivos, debido a sus dimensiones que permiten su instalación en puertas y en el corrugado de los contenedores. En esta ocasión, al tratarse de un demostrador los factores que condicionarían la ubicación de los dispositivos en caso de uso en campo no se han tenido en cuenta minuciosamente.

Pese a que el sistema final los dispositivos de un mismo instrumento se comunicarán mediante ultrasonidos, para el demostrador se ha hecho uso de un cable rugerizado que soporta condiciones climáticas adversas.

Ilustración 7. Cableado de unión entre el dispositivo interno y el dispositivo externo

El coordinador y la pasarela se han instalado a aproximadamente 50 metros del contenedor, junto con el GPS, debido a el coordinador-pasarela requería de una fuente de alimentación externa. El GPS se configuró para que calculase la posición cada 15 minutos.

El funcionamiento de la red inicialmente se configuró como envíos de información desde los distintos nodos al coordinador cada 6 segundos, para comprobar la fiabilidad de la misma. Este modo de funcionamiento catalogado como modo de pruebas, consistía en que cada 12 segundos aproximadamente llegaba al coordinador una trama de los distintos instrumentos, si no se habían adquirido medidas debido a que no se hubiese producido ninguna alarma, o no se hubiese generado la señal de medida periódica, la trama no contenía datos útiles.

Una vez comprobada la recepción de datos y la cobertura de la red, ésta se configuró de forma que al coordinador llegase una trama cada 3 minutos aproximadamente, de esta forma se produce un ahorro considerable de las baterías de los dispositivos externos.

Gracias a la pasarela los datos recogidos son enviados a través del internet, hacía una base de datos alojada en un servidor. Antes de que se produzca el envío de datos desde los distintos instrumentos a la pasarela, estos han tenido que darse de alta en la pasarela.

Por último, ha hecho uso del navegador Chrome que optimizar la aplicación creada. Se ha consultado la aplicación web desde diferentes terminales para comprobar su portabilidad.

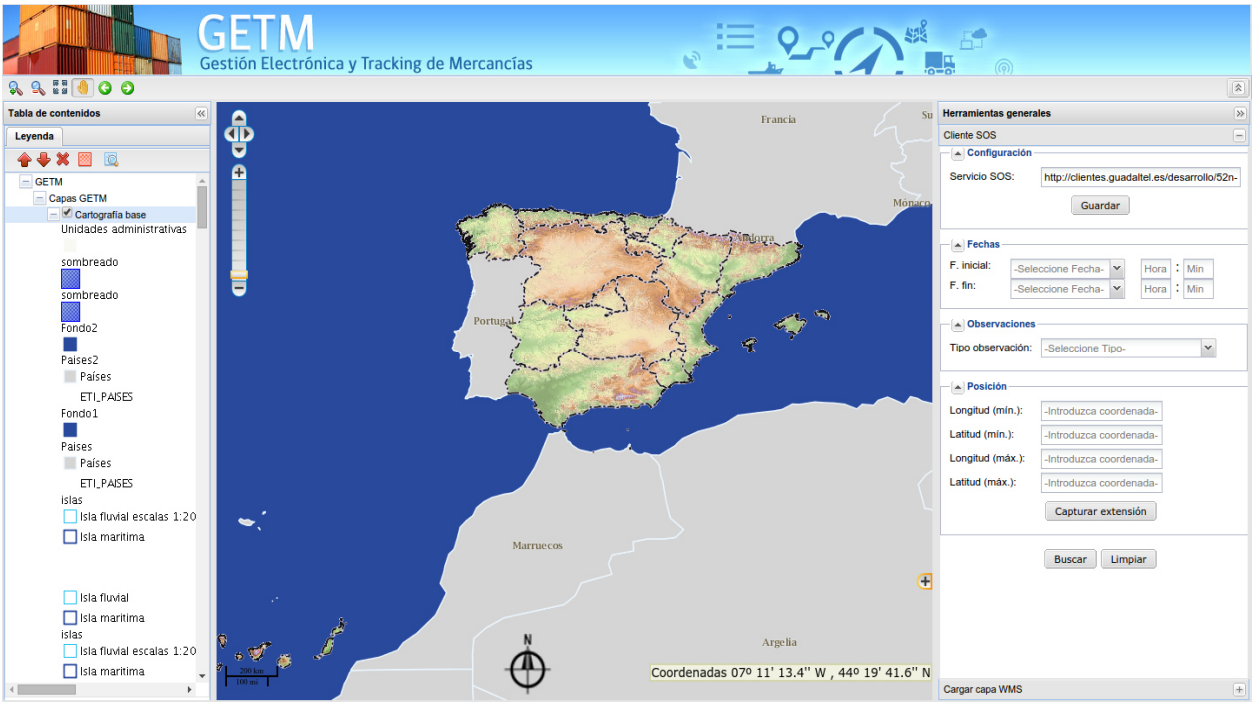

Ilustración 8. Aplicación de Usuario

5. Conclusiones y líneas futuras

Debido a la naturaleza del proyecto y a los resultados obtenidos, es conveniente tratar tanto las líneas futuras de investigación y desarrollo como la línea de explotación del mismo.

La primera línea referente a la investigación y desarrollo deberán mejorar el sistema ya diseñado, adaptándose a los posibles estándares del mercado y solucionando posibles problemas a la hora de implementarlo en un sistema real de transporte de mercancías. Siendo la terminación del desarrollo del sistema de ultrasonidos el primero de los logros a alcanzar, debido a que en tal caso se dispondría de un sistema no invasivo en los contendores, lo cual es un atractivo de cara a la venta del producto a las grandes empresas de logística de contenedores.

El proyecto posee grandes oportunidades de negocio como quedó reflejado en el estudio de mercado realizado.