



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Sistema de monitorización de vehículos basado en
sensor magnético

Autor/es

Rubén Calle Berges

Director/es

Rubén Blasco Marín

Roberto Casa Nebra

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2015



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Rubén Calle Berges,

con nº de DNI 76972317B en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado _____, (Título del Trabajo)

Sistema de monitorización de vehículos basado en sensor magnético

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada
debidamente.

Zaragoza, 03 de Septiembre del 2015

Fdo: Rubén Calle Berges

Sistema de monitorización de vehículos basado en sensor magnético

Resumen

En la actualidad, la sociedad demanda una alta cantidad de bienes de consumo. Para poder hacer frente a esta demanda son necesarios una gran cantidad de transportes, tanto de productos como de personas. Esta situación unida al ritmo de vida actual de la población hace que diariamente se produzcan millones de desplazamientos, la mayoría de ellos se realizan a través de las vías públicas. Para asegurarse que estos desplazamientos se realicen de forma segura y eficiente son necesarios sistemas de control del tráfico.

La mayor parte de los sistemas de detección de vehículos actuales utilizan lazos inductivos. Sin embargo, en la actualidad, los sensores de tráfico basados en sensor magnético se presentan como sustitutos de estos debido a que presenta grandes ventajas. Estos sensores abren la posibilidad de su utilización en múltiples aplicaciones (detección de aparcamientos libres, nivel de ocupación de calzadas, control de entrada de vehículos, etc.).

En el presente proyecto se pretende desarrollar un prototipo de sensor de tráfico basado en sensor magnético que permita la realización de pruebas de campo para comprobar la tecnología. Este prototipo permitirá caracterizar la “huella” magnética de un vehículo, caracterizar las condiciones del entorno de trabajo y probar un primer algoritmo de detección.

Para ello se ha realizado una investigación de los sistemas actuales de detección de vehículos, los artículos publicados sobre detección de vehículo mediante sensor magnético y los distintos sensores magnéticos comerciales actuales.

Con la información reunida se han establecido características del prototipo y los requisitos que el sensor magnético debe de cumplir. Esto ha permitido realizar una selección de los componentes que conformaran el dispositivo. Adicionalmente, se ha realizado una prueba de campo con el sensor magnético seleccionado para verificar si es adecuado para esta función.

Posteriormente se ha diseñado el hardware y firmware necesario para el dispositivo. Para el desarrollo del hardware se ha seguido un diseño modular, dividiendo en bloques funcionales que simplifica así el problema a resolver, dividiendo un problema complejo en varios simples. Para el desarrollo del firmware se ha realizado un diseño modular basado en distintas capas de programación, que permite una fácil reutilización y actualización del código. También se ha definido un protocolo de comunicación para el envío de comandos de control y la recepción de paquetes de datos.

Como resultado final se ha obtenido un prototipo funcional en PCB. Este dispositivo permite caracterizar la huella magnética de un vehículo, comprobar las condiciones del entorno de trabajo, medir las vibraciones producidas por el paso de un vehículo y probar un primer algoritmo de detección. Este dispositivo incluye una comunicación inalámbrica para facilitar la realización de pruebas y varios puertos de expansión que permitirían en un futuro probar distintos sensores y módulos de comunicación.



INDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	- 5 -
1. INTRODUCCIÓN	- 5 -
2. OBJETIVOS	- 5 -
3. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO	- 6 -
4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	- 6 -
CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE	- 8 -
1. INTRODUCCIÓN	- 8 -
2. SISTEMAS COMERCIALES ACTUALES	- 8 -
3. INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON SENSORES DE TRÁFICO	- 11 -
4. SENSORES MAGNÉTICOS APLICADOS A LA DETECCIÓN DE VEHÍCULOS	- 13 -
4.1 FUNDAMENTO FÍSICO	- 13 -
4.2 TIPOS DE SENSORES MAGNÉTICOS	- 14 -
4.2.1 AMR (Anisotropic magnetoresistance)	- 14 -
4.2.2 GMR (Giant magnetoresistance)	- 14 -
5. CONCLUSIONES	- 15 -
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL HARDWARE	- 16 -
1. INTRODUCCIÓN	- 16 -
2. DISEÑO	- 16 -
2.1 INTERFAZ	- 17 -
2.2 SENSORES DE TRÁFICO	- 18 -
2.2.1 SENSOR MAGNÉTICO	- 19 -
2.2.1 ACELERÓMETRO	- 21 -
2.3 SENSORES DE ENTORNO	- 22 -
2.4 OTROS SENSORES	- 24 -
2.5 COMUNICACIÓN	- 25 -
2.6 CONTROL	- 26 -
2.6.1 MEMORIA	- 26 -
2.6.2 Microcontrolador	- 28 -
2.7 ALIMENTACIÓN	- 29 -
2.7.1 LDO	- 30 -
2.7.2 Batería	- 30 -
3. DISEÑO DE LA PCB	- 31 -



CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL FIRMWARE	- 32 -
1. INTRODUCCIÓN	- 32 -
2. ESTRUCTURA DEL CÓDIGO	- 32 -
3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	- 33 -
3.1 MODO INICIALIZACIÓN	- 34 -
3.2 MODO MANUAL	- 35 -
3.3 DETECCIÓN	- 36 -
3.4 MODO MUESTREO	- 37 -
3.5 TRANSMISIÓN	- 38 -
4. PROTOCOLO DE COMUNICACIONES	- 39 -
4.1 FORMATO	- 39 -
4.2 COMANDOS	- 40 -
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	- 42 -
1. CONCLUSIONES	- 42 -
2. LÍNEAS FUTURAS	- 43 -
CAPÍTULO 6. TRABAJOS CITADOS	- 44 -
ANEXO 1. PRUEBA DE CAMPO	- 46 -
1. INTRODUCCIÓN	- 46 -
2. OBJETIVO	- 46 -
3. DESCRIPCIÓN DEL SETUP	- 46 -
4. METODOLOGÍA	- 47 -
5. ANÁLISIS DE DATOS	- 49 -
6. CONCLUSIONES	- 51 -
ANEXO 2. ESTIMACIÓN DE COSTES	- 52 -
ANEXO 3. PLANOS	- 53 -
1. ESQUEMÁTICO	- 53 -
2. PCB CARA TOP	- 55 -
3. PCB CARA BOTTOM	- 55 -
4. PCB 3D	- 56 -



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayor parte de los sistemas de detección de vehículos utilizan lazos inductivos. Actualmente los sensores de detección de tráfico basados en sensor magnético se presentan como los sustitutos de los lazos inductivos. Estos sensores poseen una gran ventaja frente a la otra tecnología, lo que abre la posibilidad de su utilización en múltiples aplicaciones (detección de aparcamientos libres, nivel de ocupación de calzadas, control de entrada de vehículos, etc.).

El presente proyecto pretende desarrollar un prototipo de sensor de tráfico basado en sensor magnético que permita la realización de pruebas de campo para comprobar la tecnología. Este prototipo permitirá caracterizar la “huella” magnética de un vehículo, caracterizar las condiciones del entorno de trabajo y probar un primer algoritmo de detección.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este P.F.G (Proyecto Final de Grado) es desarrollar un prototipo de sensor de tráfico (conteo de vehículos) basado en sensor magnético, que permita capturar la “huella” magnética del paso de un vehículo.

Para lograr este objetivo final se han planteado los siguientes objetivos parciales:

Búsqueda de información: Se va a realizar una búsqueda de información sobre la detección de vehículos mediante la medida del campo magnético.

Síntesis de la información: Mediante la información conseguida en el objetivo anterior, se van a definir las características del sistema. Se va a especificar los requisitos mínimos que tiene que cumplir el sensor magnético que se va a utilizar.

Diseño del diagrama de bloques: Se va a realizar un primer diseño a nivel de diagrama de bloques. En este diseño se va a especificar a grandes rasgos como va a ser el dispositivo.

Elección de componentes: Con el diagrama de bloques realizado se va a realizar una selección de los componentes principales que compondrán el sistema.

Validación del sensor magnético: Dado que el sensor magnético es el componente más crítico para la realización de este proyecto, se va a validar que el sensor elegido es adecuado para esta función. Para realizar esta validación se va a realizar una prueba de campo en un entorno real, montando un prototipo simplificado en una protoboard.

Diseño del Hardware: Una vez asegurado que el sensor magnético es el apropiado, se va a realizar el diseño final del hardware del dispositivo, plasmado en una PCB (Printed Circuit Board).

Diseño del Firmware: Tras el diseño final del hardware se va a proceder a diseñar e implementar el firmware necesario para la aplicación final del dispositivo.

3. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

Para asegurar el cumplimiento de la fecha de entrega de este proyecto se ha establecido un cronograma con los plazos que se deben cumplir para cada una de las fases de desarrollo de este proyecto. En la figura siguiente (Fig. 1), se puede observar el diagrama de Gantt para las distintas fases de este proyecto. Para la realización de esta planificación se ha considerado que el comienzo sería el 01/02/2015 y que la fecha final de entrega sería 20/08/2015. Se ha considerado un tiempo aproximado para cada fase. La duración de cada actividad viene expresada en días, considerando una medida de 6 horas de trabajo cada día. Se ha incluido una última fase de puesta a punto del proyecto, como margen de seguridad para solventar posibles fallos y problemas en la puesta a punto final del dispositivo.

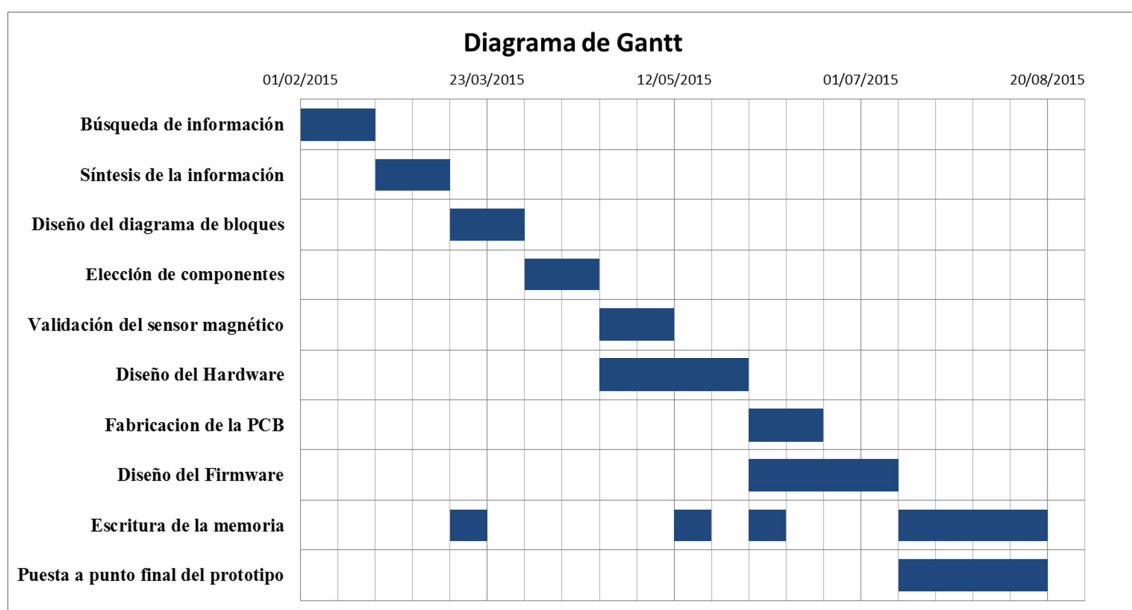


Fig. 1 Diagrama de Gantt

4. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Para documentar la realización de este P.F.G se van a desarrollar 1 documentos, una memoria en la que se expondrá todas las tareas realizadas y toda la información necesaria para la comprensión de este proyecto. Toda la información de carácter secundario se ha incluido en los anexos.

La memoria se ha estructurado en los siguientes capítulos:

Capítulo 1: En este capítulo se expone los objetivos del proyecto y una planificación temporal para el desarrollo del mismo.

Capítulo 2: El capítulo segundo muestra el estado de la técnica actual relacionado con el desarrollo del este proyecto.

Capítulo 3: En este capítulo se plantea el diseño del hardware del prototipo final incluyendo la elección de componentes, el diseño de circuitos y de la PCB.



Capítulo 4: El capítulo cuarto muestra el diseño del firmware en el que se expondrá los distintos modos de funcionamiento del dispositivo, la estructura de la programación y los protocolos de comunicación utilizados.

Capítulo 5: En este capítulo se abordan las conclusiones del trabajo realizado, estudiando el grado de cumplimiento de los objetivos del proyecto y planteando líneas futuras de trabajo.

Capítulo 6: Este capítulo es la referencia de todos los trabajos citados en el proyecto.

Adicionalmente a estos capítulos se han incluido 3 anexos. Estos anexos están estructurados de la siguiente forma:

Anexo 1: En este anexo se ha incluido la prueba de campo que se ha realizado para la validación del sensor magnético.

Anexo 2: En este anexo se ha realizado una estimación de coste para la fabricación de la PCB.

Anexo 3: En este anexo se han incluido los planos del dispositivo. Se ha incluido el esquemático, la PCB (tanto la cara top como la cara bottom) y la vista en 3D de la PCB.



CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se estudia los sistemas actuales de detección de vehículos así como la tecnología disponible para la medición del campo magnético, también se estudian los artículos consultados sobre este tema para la realización de este proyecto. El objetivo es establecer las características esenciales que debe de cumplir el dispositivo y los requisitos mínimos que debe de satisfacer el sensor magnético elegido.

A continuación se presenta el estado del arte en el siguiente orden: En primer lugar se explican los sistemas actuales de detección de vehículos. Después se exponen los artículos científicos consultados para la realización de este proyecto. Posteriormente se describen los sensores magnéticos actuales para, finalmente, presentar las conclusiones de este estudio.

2. SISTEMAS COMERCIALES ACTUALES

Desde la revolución industrial hasta la actualidad la demanda de bienes de consumo ha aumentado continuamente. Actualmente, para poder satisfacer esta demanda, son necesarios una gran cantidad de transportes, tanto de productos como de personas. Esta situación, unida al ritmo de vida de la población actual, que hace que la mayoría de las personas tengan que desplazarse diariamente, produce millones de desplazamientos diarios que deben de producirse de forma segura y rápida. Por todo ello, desde la aparición del semáforo hasta los modernos sistemas actuales de control de tráfico, la tecnología de control de tráfico ha estado evolucionando continuamente.

Actualmente existen muchos tipos de sistemas de control de tráfico (semáforos, paneles luminosos, radares, etc.), este proyecto se va a centrar en los sistemas de conteo de vehículos. El conteo de vehículos se realiza mediante 2 tipos de sistemas. El primero se trata de sistemas intrusivos, es decir que para su instalación hay que interrumpir el tráfico, y el segundo se trata sistemas no intrusivos. A continuación se van a exponer algunos de estos sistemas:

La manguera neumática: Se trata de un sensor intrusivo. Consiste en cruzar por la calzada una manguera en cuyo interior se encuentra un fluido. Cuando un vehículo pisa la manguera produce una variación de presión en el fluido que es detectada. Es un método eficaz pero solo para uso temporal (instalación no permanente) y con tráfico fluido. Requiere instalación.



Fig. 2 Manguera neumática

Fuente (<http://www.tyssatransito.com>)

Los bucles inductivos: Se tratan de sensores intrusivos. Detectan los vehículos por la variación que el paso de éste genera en el campo magnético que es generado por un bucle conductor. Cuando detectan esta variación incrementan el conteo de vehículos. Requieren instalación. Como principal problema asociado a los mismos esta su elevada tasa de rotura, que implica costes de mantenimiento.



Fig. 3 Bucle inductivo Fuente

(<http://www.navarra.es>) (<http://www.tyssatransito.com>)

Los sensores piezoeléctricos: Se tratan de sensores intrusivos. Están compuestos de un material que cuando experimenta una deformación proporciona una tensión equivalente a esta deformación. Se colocan 2 de estos sensores a una distancia conocida así se puede saber la velocidad del vehículo y su tamaño. Presentan el problema de que, en condiciones de tráfico poco fluido, pueden confundir el final de un vehículo con el principio del siguiente. Por ello, este tipo de sensores suelen ser instalados junto con un lazo inductivo, solucionando el problema anterior. En este caso nos proporcionan una gran cantidad de información pero tienen un consumo más alto. Los sensores piezoeléctricos no pueden detectar vehículos en reposo.



Fig. 4 Sensor piezoeléctrico

Fuente (<http://www.tecbas.es>)

Los sensores basados en cable de fibra óptica: Se tratan de sensores intrusivos. Detectan vehículos por la variación de la conductividad óptica cuando el cable es pisado por la rueda del vehículo. Su utilización es similar a la de los piezoeléctricos, con la ventaja de que si detectan vehículos en reposo.

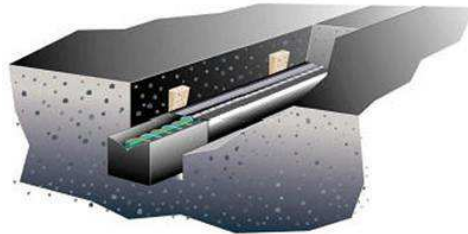


Fig. 5 Sensor de fibra óptica

Fuente (<http://www.tyssatransito.com>)

Los sistemas de reconocimiento visual: Se tratan de sensores no intrusivos. Se basan en el tratamiento de imágenes obtenidas por una cámara de tráfico para extraer información de ellas. Proporcionan una gran cantidad de información, por el contrario, requieren de gran capacidad de computación y presentan un consumo energético elevado. También son muy vulnerables a las condiciones climáticas como lluvia o niebla.



Fig. 6 Sistema de reconocimiento visual

Fuente (<http://www.pyramidconsulting.es>)

Todos estos sistemas adolecen de algunos problemas como: coste, consumo, mantenimiento elevado, etc. Estos problemas hacen que en la actualidad se esté empezando a adoptar un nuevo tipo de soluciones basadas en tecnología de redes de sensores inalámbricos (Wireless Sensor Network, WSN). Un método que se está implantándose se trata de redes de nodos de detección de tráfico basados en la medición del campo magnético.

Los sensores de tráfico magnéticos: Pueden ser intrusivos o no intrusivos aunque habitualmente lo son. Se basan en detectar las perturbaciones magnéticas provocadas por los vehículos. Generalmente se instalan como redes de nodos que se comunican entre sí o con un nodo central. Permiten detectar los vehículos, su velocidad, e incluso clasificarlos por su tamaño.



Fig. 7 Sensores de tráfico magnéticos

Fuente (<http://www.ciudadesinteligentes.cl>)

3. INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON SENSORES DE TRÁFICO

En este apartado se exponen los artículos en los que se ha centrado la documentación necesaria para la realización de este proyecto:

En 1997 Phan, Kwan y Tung [1] analizaron la posibilidad de la identificación y clasificación de vehículos mediante la medida del campo magnético. En su estudio plantearon que midiendo como varía el campo magnético al paso de un vehículo se podría clasificar dicho vehículo dependiendo de su tamaño. Para ello realizaron un modelo matemático de dicha variación que posteriormente fue simulado. Finalmente se observó que la deformación que produce un vehículo en el campo magnético terrestre depende de los siguientes factores: la masa del vehículo, la longitud, la forma, la distancia al sensor, y la orientación con respecto al sensor.

Pelegri, Alberola y Llarío [2] analizan la posibilidad de realizar un dispositivo para detectar vehículos y calcular su velocidad y longitud mediante la medida del campo magnético. Para ello proponen un dispositivo con 2 sensores magnéticos GMR (Giant Magnetoresistance) de un eje colocados a una distancia conocida. Estos sensores tienen que detectar el paso del vehículo por ellos y como la distancia entre ellos es conocida tanto la velocidad como la longitud del vehículo es fácilmente calculable. Dicho dispositivo se montó, comprobando experimentalmente su funcionamiento.

Otra aplicación para esta idea es la clasificación de vehículos por tamaño. Feng y Mingzhe [3] proponen un dispositivo con un sensor magnético ARM (Anisotropic Magnetoresistance) de 3 ejes. Este dispositivo va a proporcionar la huella magnética que el vehículo deja en cada uno de los 3 ejes, posteriormente esta huella será analizada mediante un algoritmo SVM (Support Vector Machine) para así clasificarlo en cuatro grandes grupos: grandes camiones, autobuses, furgonetas, coches. Obteniendo así una eficacia en cada grupo de 86%, 80%, 81%, 89% respectivamente.

La clasificación de vehículos según su tamaño tiene una especial dificultad en el caso concreto de entornos urbanos congestionados. En estos entornos la velocidad de los vehículos es muy pequeña y la distancia entre ellos también. Estas condiciones provocan que las medidas de los vehículos puedan interferirse entre ellas. Yang y Lei [4] analizan el desarrollo de un dispositivo para este ambiente. Para ello proponen un dispositivo con un sensor magnético ARM digital de 3 ejes (HMC5883L). Con las medidas de este sensor se calculan 5 índices: Duración de la señal del vehículo, energía de la señal, energía media de la señal, relación de energía positiva y negativa del eje X y relación de energía positiva y negativa del eje Y. Con estos índices se realiza un algoritmo de detección en árbol jerárquico obteniendo así un porcentaje de éxito en la detección de vehículos del 99,05% y en la clasificación de los vehículos del 93,66%.

Una clasificación concreta de vehículos resultaría una mejora considerable de los trabajos anteriores. Para ello Cirilo, García, Pla-Castells y Martínez [5] analizan la posibilidad de ello. Proponen un dispositivo con un sensor magnético ARM de 3 ejes (Honeywell HCM2003). Las medidas de este sensor serían comparadas con unos patrones de referencia mediante un algoritmo.

Sifuentes, Casas y Pallas-Areny [6] proponen otra aplicación, establecer una red de nodos WSN para detectar vehículos estacionados en aparcamientos. La red estaría compuesta de nodos de detección que incorporarían un sensor magnético ARM (AAH002), estos nodos compararían la medida del campo magnético con un nivel base e informarían a un nodo central de si la plaza está ocupada o libre.

Otra posible aplicación propuesta por Zou, Yang y Cao [7] es la utilización de detectores de tráfico basados en la medida del campo magnético para poder realizar un control dinámico en tiempo real de los semáforos. Actualmente su control se realiza mediante ciclos fijos que se van variando a lo largo del año. Esta estrategia tiene una eficiencia muy baja que conlleva el aumento del tiempo de viaje promedio y, como consecuencia directa de esto, el aumento de los atascos y de la contaminación. Pero con este tipo de sensores se posibilita la realización de un control dinámico en tiempo real reduciendo así el tiempo de viaje promedio.

Yalong, Bin y Zhiqiang [8] proponen otro método de detección de vehículos mediante la utilización de un sistema de detección magnética activa. Consiste en un dispositivo con una antena emisora de campo magnético y un sensor magnético. El campo magnético emitido es conocido, en presencia de un vehículo el campo magnético medido será distinto al esperado. Esto soluciona posibles errores debidos a la deriva de la línea de base, aunque con un coste y un consumo más elevado. En este trabajo se construyeron 25 equipos y se le realizaron 100 pruebas a cada uno, como resultado se obtuvo una eficiencia del 96%.

4. SENSORES MAGNÉTICOS APLICADOS A LA DETECCIÓN DE VEHÍCULOS

4.1 FUNDAMENTO FÍSICO

El principio físico utilizado para detectar vehículos mediante la medida del campo magnético consiste en lo siguiente: la Tierra produce un campo magnético constante y uniforme en una amplia zona, el cual se deforma cuando es atravesado por un material ferromagnético. Los vehículos, que están compuestos mayoritariamente por materiales férricos, producen este efecto. De esta forma, mediante la medición de estas deformaciones en el campo magnético terrestre, se puede detectar el paso de un vehículo. Estas variaciones dependen fuertemente de la cantidad y distribución del material férrico que lo atraviesa, por lo tanto distintos vehículos producirán distintas variaciones, pudiendo incluso permitir, además del conteo, la identificación de los vehículos.

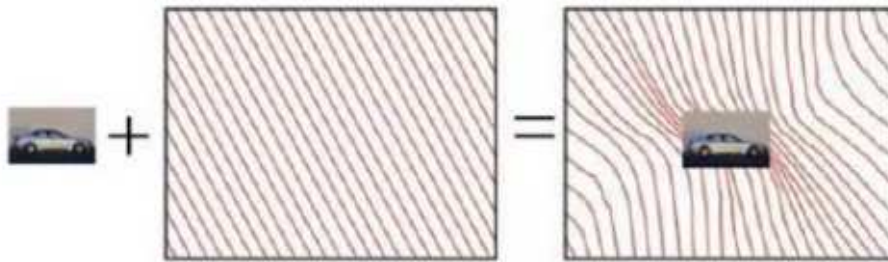


Fig. 8 Deformación del campo magnético

Fuente (Artículo de Yang y Lei [4])

El conteo de vehículos en base a sensores magnéticos presenta una serie de problemas que, en algunos casos, resultan insalvables sin la incursión de otros sensores. Un primer problema asociado a esta detección resulta de la relación entre la frecuencia de muestreo para la medida del sensor magnético, con la velocidad que posee el vehículo. Un equipo que pueda estar en cualquier tipo de vía tiene que poder identificar a vehículos que van a velocidades que pueden variar desde unos pocos kilómetros por hora hasta velocidades superiores a 120 kilómetros por hora. Hay que asegurar una frecuencia de muestreo que identifique vehículos incluso a la máxima velocidad esperable de un vehículo en cualquier vía.

Otro problema resulta de la relación de la medida del campo magnético con temperatura del sensor magnético, esto es fácilmente salvable eligiendo un sensor que corrija la medida internamente. Por último, en situaciones de tráfico saturado, los vehículos suelen moverse a muy bajas velocidades estando incluso una gran cantidad de tiempo parados. Debido a esto, en muchos casos los vehículos circulan tan cerca entre sí que el sensor podría no identificar el final de uno y el principio del siguiente, dándonos a entender que en vez de 2 vehículos tenemos uno muy grande. Esta situación es difícilmente salvable sin la inclusión de otro sensor y puede provocar errores en el conteo de algunos vehículos.

4.2 TIPOS DE SENSORES MAGNÉTICOS

Los sensores de medida del campo magnético se clasifican en 3 grupos dependiendo de su sensibilidad: El grupo 1, los que miden campos magnéticos más fuertes que el terrestre; el grupo 2, los que miden variaciones en el campo magnético terrestre; El grupo 3, los que miden campos magnéticos más débiles que el terrestre. Para esta aplicación es necesario medir variaciones en el campo magnético terrestre, por lo que se va a elegir un sensor del grupo 2, con una precisión de mG. A continuación se muestran los dos tipos principales de sensores de este grupo.

4.2.1 AMR (ANISOTROPIC MAGNETORESISTANCE)

Los sensores AMR están compuestos de un material llamado Permalloy (una aleación que contiene 80% de níquel y 20% de hierro) este material exhibe magnetorresistencia anisotrópica, es decir, el valor de su resistencia depende del ángulo formado por el vector magnetización y la corriente que lo atraviesa. Estos sensores suelen estar montados formando un Puente de Wheatstone, que proporciona una tensión variable dependiente del valor del campo magnético. Su precisión varía desde los μG hasta los 50G, y su consumo suele ser de 0.5mW.

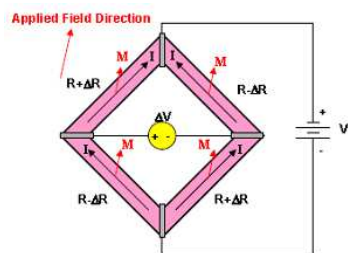


Figure 2
AMR Bridge

Fig. 9 Sensor AMR Fuente (honeywell.com)

4.2.2 GMR (GIANT MAGNETORESISTANCE)

Los sensores GMR están compuestos por diversas capas de materiales conductores ferromagnéticos y de materiales no magnéticos alternativamente. Se observa un cambio grande en la resistencia total dependiente del valor del campo magnético. Tienen a tener más ruido que los sensores AMR. Pueden medir campos magnéticos de valor desde 1mG hasta 1000G pero su banda de medida es más pequeña que la de los AMR.

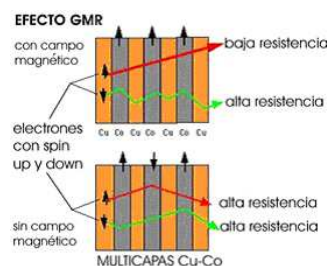


Fig. 10 Sensor GMR Fuente (donapealsi.wikispaces.com)



5. CONCLUSIONES

Tras analizar la información obtenida del análisis de estado del arte, se han establecido unos requisitos mínimos para la elección del sensor magnético:

- Se va a optar por un sensor de tecnología AMR, por tratarse de sensores con una banda de medida más alta que los GMR, aunque como se ha visto en algunos trabajos, un sensor GMR podría ser también adecuado.
- Para poder estudiar la posibilidad de identificar vehículos es imprescindible que el sensor disponga de 3 ejes.
- En vista de los datos obtenidos en los experimentos de los trabajos estudiados y de las características de los sensores utilizados en ellos, se ha decidido establecer un rango de medida mínimo de $\pm 2000\text{mG}$ con una sensibilidad mínima de 10mG .
- Para disminuir posibles problemas provocados por ruidos en las señales de medidas se va a elegir un sensor digital que realice internamente la conversión A/D, facilitándonos en formato digital los valores de campo magnético. Es también necesario que este sensor corrija internamente los errores debidos a la variación de la temperatura.
- Otra característica importante es que el sensor tenga una frecuencia de muestreo adecuada, este cálculo se detalla en el capítulo 3.

Aunque no es objetivo del presente proyecto, se va a optar por incluir un acelerómetro. Se ha considerado que puede resultar de gran utilidad a la hora de obtener información complementaria a la del sensor magnético. Como la futura aplicación de este sensor no está definida, se va a optar por un acelerómetro digital de 3 ejes con rango de medida graduable.

La función del dispositivo es la de realizar pruebas de campo, se considera importante conocer las condiciones del entorno en las que se están realizando las pruebas (impactos, variaciones térmicas, variaciones de humedad, etc...). Por todo ello, además de la inclusión del acelerómetro, se va a incluir un sensor de humedad y temperatura.



CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL HARDWARE

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se aborda el diseño del hardware necesario para este proyecto. Se plantean los diferentes bloques funcionales que conforman el dispositivo y propone una solución para cada uno de ellos. Esta solución incluye la selección de componentes que van a formar parte del prototipo así como el diseño de la PCB. Como resultado se van a obtener los esquemáticos, la PCB y los archivos necesarios para su fabricación (Gerbel y NC Grill files) que van a permitir la fabricación de un prototipo funcional.

Este capítulo está estructurado de la siguiente manera: Primero se expone el diseño a nivel de diagrama de bloques. Después para cada bloque se define una solución concreta. Por último se ha realizado el diseño de la PCB.

2. DISEÑO

En este apartado se plantea el diseño de nuestro dispositivo. Este diseño se ha planteado de forma modular, identificando cada uno de los bloques funcionales que componen al mismo y planteando soluciones para cada uno de ellos, primando en todo momento un diseño compacto y un bajo consumo. La siguiente figura (Fig. 11), muestra el diagrama de bloques del dispositivo, compuesto por los siguientes bloques:

Bloque control: Constituye el núcleo del sistema, debe encargarse de gestionar cada uno de los demás bloques.

Bloque de sensores de tráfico: Está formado por los sensores principales del sistema, gracias a ellos el sistema realizará la identificación de vehículos.

Bloque de sensores de entorno: Este bloque incluye los sensores secundarios del sistema los cuales tienen como finalidad caracterizar las condiciones climáticas del entorno.

Bloque de comunicaciones: Tiene como fin permitir establecer una comunicación bidireccional con el usuario.

Bloque de interfaz: La función de este bloque es una comunicación rápida con el usuario del estado del sistema, así como de posibles errores.

Bloque de alimentación: Este bloque debe proveer de alimentación a todo el dispositivo.

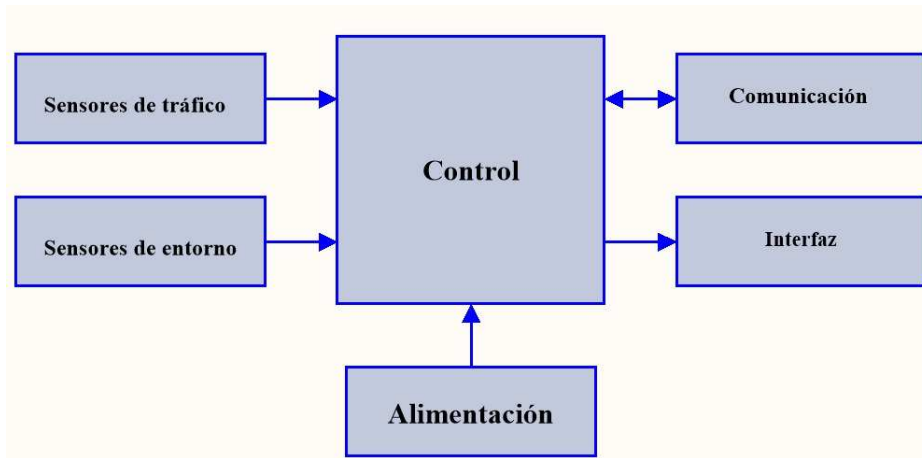


Fig. 11 Diagrama de bloques

En las siguientes secciones se definen las características y se plantea el diseño de cada uno de los bloques. Primeramente se expone la razón por la que se ha incluido este bloque en el diseño y cuáles son los requisitos que debe cumplir. Después se decide los componentes de cada bloque y se expone sus características. Finalmente se expone los requisitos que impone cada bloque para el microcontrolador (número de I/O, periféricos, etc.), para facilitar la elección del mismo, y por último se define los diferentes modos de funcionamiento y el consumo en cada uno de ellos.

2.1 INTERFAZ

Como el objetivo principal del dispositivo es testear la tecnología y realizar pruebas de campo, se hace necesaria una manera sencilla de comunicar al usuario el correcto funcionamiento así como posibles errores producidos. Para esta tarea se van a incluir un par de leds que van a actuar como indicadores luminosos. Aunque se han incluido en este diseño, en una futura aplicación real no se incluirían al no ser necesarios, disminuyendo el consumo.

El componente elegido está compuesto de 2 leds de distinto color (verde y rojo) integrados en el mismo encapsulado de montaje superficial (**HSMF-C155**)

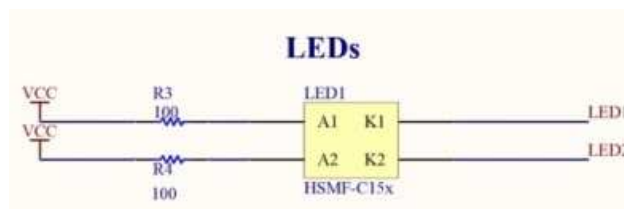



Fig. 12 Leds

	Sistema de monitorización de vehículos basado en sensor magnético
	Memoria

Como se expone en la sección 2.7, el nivel de tensión seleccionado para alimentar todo el circuito es de 3V. Se va a conectar los ánodos de los leds a este nivel de tensión y los cátodos a 2 pines del microcontrolador. Así se controlara el encendido o apagado de los leds. Aunque la corriente nominal de los leds elegidos es de 20mA por led, se ha decidido que se trata de un consumo demasiado alto, por tanto se dimensionarán las resistencias de polarización para fijar una corriente de 10mA por led. Aunque los leds no se iluminarán con su máxima intensidad, será suficiente para poder ser observados por el usuario. Con estos requisitos se ha calculado unas resistencias de polarización de 100 Ω .

En la siguiente tabla (Tabla 1) se muestran los requerimientos de control para este bloque:

	CANTIDAD	OBSEVACIONES
MODULO SPI	0	
MODULO I2C	0	
MODULO UART	0	
PIN INTERRUPCION	0	
PIN I/O	2	Con capacidad de drenar 10mA
CONVERSOR A/D	0	

Tabla 1 Requisitos del microcontrolador de la interfaz

Desde el punto de vista del consumo, la interfaz puede estar en 3 estados distintos. Todos los leds apagados, cuando el dispositivo no está en funcionamiento, 1 led encendido cuando el dispositivo está funcionando correctamente y el segundo led solo se encendería cuando se produzca algún error. En la tabla siguiente (Tabla 2) se puede observar los consumos para los distintos estados.

ESTADO	CONSUMO
ON 1 LED	10mA
ON 2 LEDs	20mA
OFF	0mA

Tabla 2 Consumos de la interfaz

2.2 SENSORES DE TRÁFICO

Este bloque es el más relevante ya que, mediante los sensores de tráfico, se realizará la caracterización de los vehículos que permitirá identificarlos, por ello el diseño de este bloque es uno de los más importantes en el diseño de del dispositivo.

Como objeto principal de este proyecto esta capturar la huella magnética del paso de un vehículo. Por ello el sensor magnético será el sensor principal de este bloque. Adicionalmente se ha decidido instalar un acelerómetro porque se considera que puede ser de utilidad en el futuro para la identificación de vehículos, aunque su desarrollo no se abordará en el presente trabajo.

2.2.1 SENSOR MAGNÉTICO

En el capítulo 2, Estado del arte, se han identificado la mayor parte de los requisitos que debe cumplir este sensor (tipo de sensor, número de ejes, rango de medida y sensibilidad). A continuación se va a calcular el último requisito que falta por conocer, la frecuencia de muestreo del sensor.

Para el cálculo de la frecuencia de muestreo se va a suponer los distintos casos posibles. Se supone que en todos los casos para detectar cada vehículo se necesita como mínimo 2 muestras, además los vehículos pueden medir como mínimo 3 metros. Se va a suponer para los cálculos que la velocidad máxima de los vehículos es de 20Km/h por encima del límite de cada tipo de vía.

En un primer caso, para vías urbanas, se supone una velocidad máxima de 70Km/h para el vehículo:

$$L = 3 \text{ m} \qquad 70 \text{ Km/h} = 19.4 \text{ m/s}$$

$$M = 2 \text{ medidas} \qquad t_{\text{sobre el sensor}} = \frac{L}{V} = \frac{3}{19.4} = 154.28 \text{ ms}$$

$$V = 140 \text{ Km/h} \qquad F_{\text{muestreo}} = \frac{M}{t_{\text{sobre el sensor}}} = 12.9 \text{ Hz}$$

Siendo:

L: Longitud mínima del vehículo

M: número de Muestras mínimas para la detección de vehículo

V: Velocidad máxima considerada del vehículo


$t_{\text{sobre el sensor}}$: Tiempo que el vehículo pasa sobre el sensor

F_{muestreo} : Frecuencia de muestreo mínima del sensor.

Repetiendo los cálculos anteriores para las distintas velocidades se obtiene la siguiente tabla (Tabla 3).

	Velocidad [Km/h]	Velocidad [m/s]	Tiempo sobre el sensor [ms]	F_{muestreo} mínima [Hz]
Límite del vehículo	200	55,55	54	37,03
Vías interurbanas	140	38,88	77,14	25,92
Vías interurbanas	120	33,33	90	22,22
Vías urbanas	70	19,44	154,28	12,96

Tabla 3 Frecuencias de muestreo

	Sistema de monitorización de vehículos basado en sensor magnético
	Memoria

Con la información obtenida en el Capítulo 2, Estado del arte, y con los cálculos del apartado anterior se han definido los requisitos mínimos que debe de cumplir el sensor.

- Una frecuencia de muestreo por lo menos de 60 Hz
- Sensor ARM de 3 ejes.
- Un rango de medida de $\pm 2000\text{mG}$
- Una sensibilidad por lo menos de 10mG
- Comunicación digital.
- Compensación interna de la temperatura.

En la siguiente tabla (Tabla 4) se muestran los sensores que se han contemplado.

Nombre	Rango	Sensibilidad	f Max	Consumo Idle	Consumo a 7Hz	Protocolo	Precio
HMC5883L	$\pm 8\text{G}$	0,73 a 4,35 mG/LSB	160 Hz	2uA	100uA	I2C Serie	5,87 €
MMC3316xMT	$\pm 16\text{G}$	2mG/LSB	50 Hz	1uA	100uA	I2C Serie	4,34 €
MMC328xMS	$\pm 8\text{G}$	2mG/LSB	25 Hz	1uA	77uA	I2C Serie	9,65 €
HMC5983	$\pm 8\text{G}$	0,73 a 4,35 mG/LSB	220Hz	2uA	100uA	I2C o SPI	3.37 €

Tabla 4 Sensores magnéticos

Como se aprecia en la tabla superior solo 2 sensores cumplen los requisitos de frecuencia de muestreo. Ambos sensores son de la misma familia y tienen características casi idénticas, así que por tener una frecuencia máxima mayor y un precio inferior se ha decidido el sensor **HMC5983**. Este sensor cumple sobradamente todos los requisitos mínimos.

Para verificar que este sensor es el adecuado para la realización de esta función se ha realizado una prueba de campo (Anexo 1).

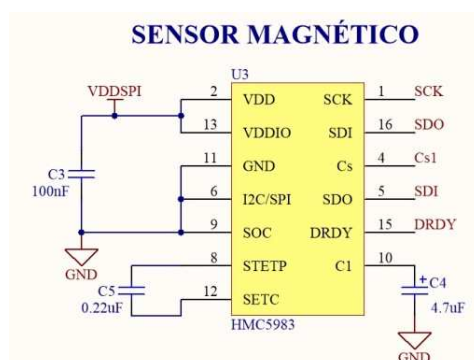


Fig. 13 Sensor magnético

En la siguiente tabla (Tabla 5) se muestran los requerimientos de control para este sensor:

	CANTIDAD	OBSEVACIONES
MODULO SPI	1	
MODULO I2C	0	
MODULO UART	0	
PIN INTERRUPCION	1	
PIN I/O	2	
CONVERSOR A/D	0	

Tabla 5 Requisitos del microcontrolador del sensor magnético

El sensor puede estar tanto en estado de espera, como muestreando. En la siguiente tabla (Tabla 6) se expone los consumos del sensor para cada estado.

ESTADO	CONSUMO
Consumo en espera	2uA
Consumo en activo	0,1mA
Rango de voltaje de funcionamiento	1,62V - 3,6V

Tabla 6 Consumos del sensor magnético

2.2.1 ACELERÓMETRO

Tras el análisis del capítulo 2, estado del arte, se ha propuesto la utilización de un acelerómetro como sensor secundario, ya que podría proporcionar información adicional sobre el vehículo que atraviesa el sensor. Se ha decidido incluir en el dispositivo para posibles futuras mejoras. Si bien su incursión en este diseño resulta apropiada, al tratarse de un dispositivo para la realización de pruebas, es posible que en un diseño finalista no fuera incluido. Como a priori no se conoce el rango de aceleraciones que va a soportar el dispositivo se ha optado por un sensor de rango ajustable y con comunicación digital. En concreto el **MMA8652FC**:

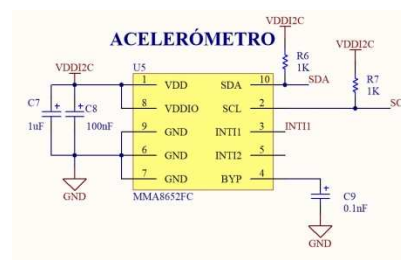



Fig. 14 Acelerómetro

Este acelerómetro tiene las siguientes características:

- Rango de medida configurable entre $\pm 2g$, $\pm 4g$ y $\pm 8g$
- Comunicación digital mediante I2C
- 2 Interrupciones configurables.

	Sistema de monitorización de vehículos basado en sensor magnético
	Memoria

En la siguiente tabla (Tabla 7) se muestran los requerimientos de control para este sensor:

	CANTIDAD	OBSEVACIONES
MODULO SPI	0	
MODULO I2C	1	
MODULO UART	0	
PIN INTERRUPCION	1	
PIN I/O	1	
CONVERSOR A/D	0	

Tabla 7 Requisitos del microcontrolador del acelerómetro

El sensor puede estar tanto en estado de espera, como muestreando. En la siguiente tabla (Tabla 8) se expone los consumos del sensor para cada estado.

ESTADO	CONSUMO
Consumo en espera	5uA
Consumo en activo	0,184mA
Rango de voltaje de funcionamiento	1,95V - 3,6V

Tabla 8 Consumos acelerómetro

2.3 SENSORES DE ENTORNO

La función del dispositivo es la de realizar pruebas de campos así como la de comprobar la tecnología, para ello es importante conocer las condiciones climatológicas en las que se están realizando las pruebas. Por ello el dispositivo va a incluir unos sensores para caracterizar las condiciones climatológicas en las que se encuentra el entorno del dispositivo. Con estos sensores se pretende conocer la temperatura a la que se encuentra el entorno así como el grado de humedad.

Para esta función se ha decidido por un sensor que pueda medir ambas magnitudes, además tiene que ser capaz de medir en los rangos que se podrían encontrar en una vía.

- Debe de tener un rango de humedad de 0 a 100 %RH
- Debe de tener un rango de temperatura como mínimo de -20 a 60°C

Con estos requisitos se ha decidido el sensor **SHT21**. Este sensor tiene las siguientes características:

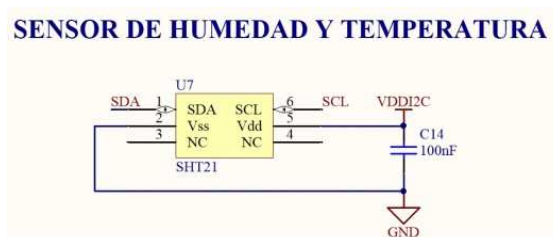


Fig. 15 Sensor de entorno



- Sensibilidad de humedad de 0.04 %RH
- Sensibilidad de temperatura de 0.01°C
- Rango de operación para la humedad de 0 a 100 %RH
- Rango de operación para la temperatura de -40°C a 125°C
- Comunicación digital mediante I2C

En la siguiente tabla (Tabla 9) se muestran los requerimientos de control para este sensor:

	CANTIDAD	OBSEVACIONES
MODULO SPI	0	
MODULO I2C	1	
MODULO UART	0	
PIN INTERRUPCION	0	
PIN I/O	1	
CONVERSOR A/D	0	

Tabla 9 Requisitos del microcontrolador del sensor de entorno

El sensor puede estar tanto en estado de espera, como muestreando. En la siguiente tabla (Tabla 10) se expone los consumos del sensor para cada estado.

ESTADO	CONSUMO
Consumo en espera	0,4uA
Consumo en activo	0,330mA
Rango de voltaje de funcionamiento	
	2,1V - 3,6V

Tabla 10 Consumos del sensor de entorno

2.4 OTROS SENSORES

Además de los sensores para caracterizar los vehículos y los sensores para caracterizar el entorno es necesario otros sensores para caracterizar algunos parámetros internos del dispositivo. En el caso de este dispositivo, como ya se verá en profundidad en la sección 2.7, el dispositivo va a ser alimentado mediante baterías por tanto se hace necesario controlar el nivel de carga de las mismas. Para esta tarea, aunque se pueden encontrar sensores comerciales para medir este parámetro, se ha decidido por un circuito muy sencillo que va a permitir conocer el nivel de carga de la batería.

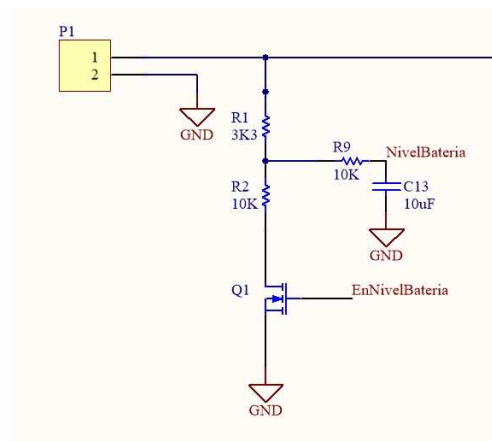


Fig. 16 Circuito de nivel de batería

Este circuito está compuesto por un divisor de tensión para adaptar la tensión de la batería, de hasta 4,2V al nivel máximo del convertor A/D del microcontrolador, que es de 3V. También se incluye un MOSFET (Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor) para poder activar y desactivar el circuito de medida, evitando así que el circuito de medida consuma cuando no se está utilizando. Adicionalmente se incluye un filtro paso bajo para filtrar posibles ruidos.

Para el divisor resistivo cumpliendo con las condiciones mencionadas y siguiendo el criterio de unificar valores de las resistencias en todo nuestro dispositivo hemos elegido los siguientes valores.

$$R1=3K3\Omega$$


$$R2=10K\Omega$$

Para la elección del MOSFET se ha tenido que encontrar uno que satisfaga tanto el nivel de tensión umbral como en su capacidad de corriente. Finalmente se ha decidido el **PMV28UN**.

En la siguiente tabla (Tabla 11) se muestran los requerimientos de control para este bloque:

	CANTIDAD	OBSEVACIONES
MODULO SPI	0	
MODULO I2C	0	
MODULO UART	0	
PIN INTERRUPCION	0	
PIN I/O	1	
CONVERSION A/D	1	

Tabla 11 Requisitos del microcontrolador del circuito de medida del nivel de batería

	Sistema de monitorización de vehículos basado en sensor magnético
	Memoria

Desde un punto de vista del consumo como este circuito de medida solo consume cuando se está realizando la medida del nivel de batería y esta medida la realizamos en muy pocas ocasiones, por tanto se puede despreciar el consumo de este circuito.

2.5 COMUNICACIÓN

Dado que la función del dispositivo es la de realizar pruebas se hace necesaria una comunicación bidireccional con el usuario. Como debe de estar bajo el asfalto se necesita una comunicación inalámbrica. Esta comunicación debería de trabajar a bajas frecuencias ya que así el nivel de penetración es mayor. No obstante, en este proyecto se ha optado por un protocolo ZigBee a 2.4 Ghz, ya que sin ser la solución más adecuada, dada la experiencia de HOWLab con esta tecnología, es la solución más rápida para poder hacer medidas de forma inalámbrica. También se han dejado disponibles 2 puertos de expansión (un SPI y una UART) que permitirán en el futuro probar otras tecnologías inalámbricas más adecuadas.

Así pues se ha utilizado el módulo de comunicación ZigBee **ETRX357**. Se trata de un módulo de comunicaciones ZigBee que se comunicará con el microcontrolador mediante un módulo UART.

En la siguiente tabla (Tabla 12) se muestran los requerimientos de control para este bloque:

	CANTIDAD	OBSEVACIONES
MODULO SPI	0	
MODULO I2C	0	
MODULO UART	1	
PIN INTERRUPCION	0	
PIN I/O	1	
CONVERSOR A/D	0	

Tabla 12 Requisitos del microcontrolador del ZigBee

El modulo puede estar tanto en estado de espera, como transmitiendo o recibiendo. En la siguiente tabla (Tabla 13) se expone los consumos del sensor para cada estado.

ESTADO	CONSUMO
Consumo en espera	0,4uA
Consumo en transmisión	31mA
Consumo en recepción	25mA
Rango de voltaje de funcionamiento	3,0V - 3,7 V

Tabla 13 Consumos del ZigBee

2.6 CONTROL

Este bloque va a ser el núcleo del dispositivo, tiene que gestionar cada uno de los demás bloques. Va a estar formado por un microcontrolador para leer y gestionar los sensores, gestionar la interfaz y gestionar las comunicaciones. Además contendrá una memoria EEPROM para almacenar variables de inicialización del sistema y para poder almacenar datos de los vehículos.

2.6.1 MEMORIA

El dispositivo en funcionamiento normal, va a necesitar almacenar valores de variables de configuración de forma permanente. Además, también tiene que poder almacenar el conteo de vehículos en la memoria, reportando periódicamente, evitando la necesidad de una comunicación continua con el usuario y disminuyendo significativamente el consumo. Como el microcontrolador elegido no dispone de una EEPROM se ha decidido incluir una memoria EEPROM externa.

La selección, al igual que el microcontrolador, se ha centrado en el fabricante Microchip. Dentro de las memorias de Microchip se ha optado por la comunicación I2C ya que eso permite utilizarla sin necesidad de más pines del microcontrolador y dentro de ese tipo de memoria se ha elegido la de mayor capacidad, de 1 Mbit.

Así que con ese criterio se ha elegido la memoria **24AA1025-I/SM**

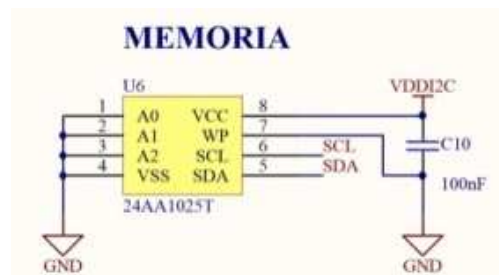



Fig. 17 Memoria

A continuación se muestra cómo se va a gestionar la memoria y que capacidad de conteo de vehículos se va a disponer.

La memoria elegida tiene una capacidad de 1000 páginas y de 128Bytes por página. Se va a utilizar la primera página para las variables de configuración y el resto para almacenar datos de vehículos.

Como datos de los vehículos se va a almacenar el número de vehículos que pasan por el sensor, el tiempo que les cuesta cruzarlo a cada uno y la fecha. Así pues la primera página entera se reserva para variables de configuración. De la segunda página los 2 primeros Bytes se reservan como contador global del número de vehículos, para este contador se elige un tipo de dato Short, que permite contar hasta 65535 vehículos. Después se almacena para cada vehículo un indicador, que será también de tipo Short y el valor del tiempo de permanencia que será un dato de tipo Float, es decir 4Bytes. Para la fecha se reserva 2 Bytes para el año, 1 Byte para el mes, 1 Byte para el día, 1 Byte para la hora y 1 Byte para el minuto. En total para cada vehículo hay que almacenar 12Bytes. En el capítulo 4, diseño del firmware, se verá en profundidad el formato de almacenamiento de los datos.

 Universidad Zaragoza	Sistema de monitorización de vehículos basado en sensor magnético
	Memoria

Con esta disposición se pueden contar hasta:

$$\text{Tamaño de la memoria} = 999 \text{ Páginas} * 128 \text{ Bytes por página} = 127872 \text{ Bytes}$$

$$\text{Nº Vehículos} = \frac{\text{Tamaño de la memoria}}{\text{Bytes por vehículo}} = \frac{127872 \text{ Bytes}}{12 \text{ Bytes}} = 10656 \text{ Vehículos}$$

En la siguiente tabla (Tabla 14) se muestran los requerimientos de control para esta memoria. Como se puede apreciar esta memoria no necesita de pines adicionales a los contemplados anteriormente.

	CANTIDAD	OBSEVACIONES
MODULO SPI	0	
MODULO I2C	1	
MODULO UART	0	
PIN INTERRUPCION	0	
PIN I/O	0	
CONVERSOR A/D	0	

Tabla 14 Requisitos del microcontrolador de la memoria

La memoria puede estar tanto en estado de espera, como en lectura o en escritura. En la siguiente tabla (Tabla 15) se expone los consumos del sensor para cada estado.

ESTADO	CONSUMO
Consumo en espera	5uA
Consumo en lectura	450uA
Consumo en escritura	5mA
Rango de voltaje de funcionamiento	1,7V - 5,5V

Tabla 15 Consumos memoria

2.6.2 MICROCONTROLADOR

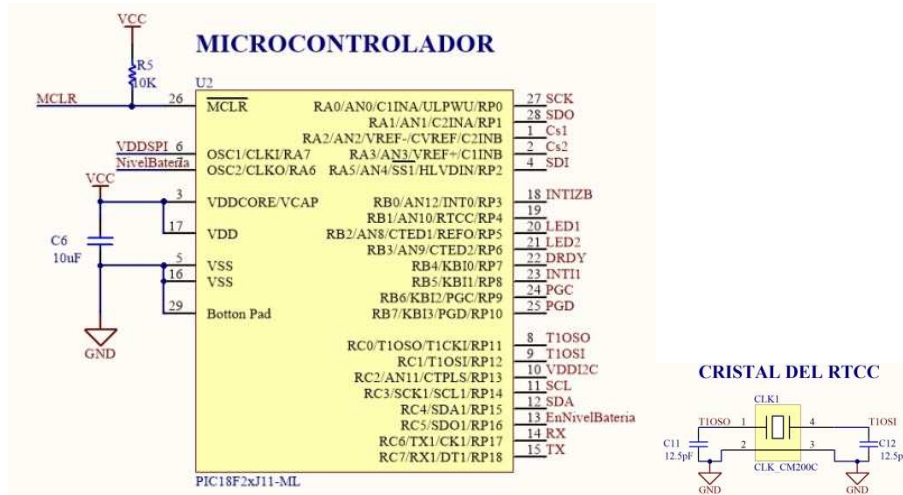


Fig. 18 Microcontrolador

Para la elección del microcontrolador dado que el grupo de trabajo en el que se ha realizado el proyecto trabaja habitualmente con microcontroladores del fabricante Microchip, la selección se ha centrado en este fabricante. Dentro de los mismos, se ha centrado la búsqueda en la familia PIC18, que provee microcontroladores de 8 bits para todo el rango de aplicaciones. Dentro de esta familia se debe encontrar uno que cumpla los requisitos de la tabla siguiente (Tabla 16). Adicionalmente a los requisitos vistos en los apartados anteriores, se va a necesitar referenciar temporalmente el conteo de vehículos. Para ello se necesitara un microcontrolador con un módulo RTC. Para este módulo RTC se ha incluido un cristal de frecuencia 32.768kHz.

	CANTIDAD	OBSEVACIONES
MODULO SPI	1	
MODULO I2C	1	
MODULO UART	1	
PIN INTERRUPCION	2	
PIN I/O	7	2 con capacidad de drenar 10mA
CONVERSOR A/D	1	
RTC	1	

Tabla 16 Requisitos del microcontrolador

Cumpliendo todos estos requisitos se ha optado por el microcontrolador **PIC18F26J11-I/ML**.

En cuanto al consumo del microcontrolador, se va a suponer que se puede encontrar en 2 estados distintos, en estado de espera (esperando a ser despertado) y en estado trabajo. Como el consumo en estado activo variará dependiendo del trabajo realizado concretamente en ese momento se va a suponer una aproximación media. En la siguiente tabla (Tabla 17) se expone los consumos del microcontrolador para cada estado.



ESTADO	CONSUMO
Consumo en espera	850nA
Consumo en activo	20mA
Rango de voltaje de funcionamiento	
	3,0V - 5V

Tabla 17 Consumos del microcontrolador

2.7 ALIMENTACIÓN

Como ya se ha mencionado anteriormente, el dispositivo se va a alimentar mediante una batería. La tensión mínima a la que funcionan todos los dispositivos es de 3V, por tanto se va a elegir esa tensión como tensión de funcionamiento. Con ese nivel de tensión se ha optado por una batería de tensión nominal de 3,6V. Esta batería acarrea un problema, que su tensión de salida oscilará entre 4,2V, en plena carga, y 3V, cuando se aproxima a su descarga. Esta situación impide conectar directamente la batería como alimentación del circuito ya que con ese rango de tensión algunos componentes se destruirían. Por ello es necesario regular el nivel de tensión del sistema a 3V, por lo que se ha optado por un LDO (Low-Dropout Regulator).

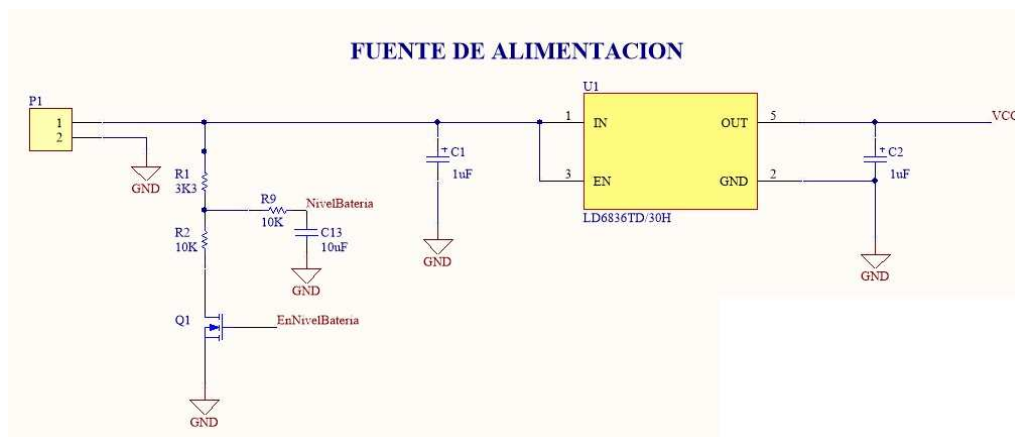



Fig. 19. Alimentación

	Sistema de monitorización de vehículos basado en sensor magnético
	Memoria

2.7.1 LDO

Para calcular la corriente máxima que ha de ser capaz de suministrar el LDO tenemos que tener en cuenta los diferentes estados en los que puede estar el dispositivo y el consumo de corriente en cada uno. Se va a definir 4 modos de funcionamiento del sistema y en qué estado se encuentra cada componente del dispositivo. En el capítulo 4 se definirá los modos de funcionamiento y porque se han elegido esos.

	Espera	Detección	Muestreo	Transmisión
Interfaz	Apagado	ON 1 LED	ON 1 LED	ON 1 LED
Sensor Magnético	Espera	Activo	Activo	Activo
Acelerómetro	Espera	Espera	Activo	Activo
Sensor Hum/Temp	Espera	Espera	Activo	Activo
ZigBee	Espera	Recepción	Recepción	Transmisión
Microcontrolador	Activo	Activo	Activo	Activo
Memoria	Lectura	Escritura	Espera	Espera

Tabla 18. Modos de funcionamiento

Con estos estados se estiman los siguientes consumos (Tabla 19):

	Espera	Detección	Muestreo	Transmisión
Interfaz	0	10mA	10mA	10mA
Sensor Magnético	2uA	100uA	100uA	100uA
Acelerómetro	5uA	5uA	184uA	184uA
Sensor Hum/Temp	400nA	400nA	333uA	333uA
ZigBee	0,4uA	25mA	25mA	31mA
Microcontrolador	20mA	20mA	20mA	20mA
Memoria	450uA	5mA	5uA	5uA
TOTAL	20,4mA	60,1mA	55,6mA	61,6mA

Tabla 19 Consumos totales

El estado que más consume es el estado de Transmisión, unos 61,6mA, así que teniendo en cuenta un margen de seguridad del 100%, se ha seleccionado un LDO que pueda proporcionar una corriente mayor de 120mA. Además interesa una tensión mínima de dropout para poder aprovechar al máximo el rango de tensión de alimentación de la batería.

Con estos criterios se ha elegido el **LD6836TD de NXP**.

2.7.2 BATERÍA

Como se ha mencionado en el apartado anterior, el dispositivo se va a alimentar mediante una batería de tensión nominal de 3.6V. Por motivos de disponibilidad, se va a utilizar una de las baterías que tienen en el grupo de trabajo en el que se está realizando el proyecto. Se tratan de unas baterías de Ion-litio con una capacidad de corriente de 6400mA/h. A continuación se calcula la autonomía del dispositivo con dichas baterías.

Para el cálculo de la autonomía primero se va a calcular el consumo medio de corriente a la hora. Para ello vamos a despreciar el estado de espera, debido a que el tiempo que el dispositivo pasara en él, en comparación con el que pasará en los demás estados es muy bajo. Después se va a suponer que el dispositivo pasa la misma cantidad de tiempo en estado de muestreo que en estado de transmisión. Así se calcula que el consumo de corriente a la hora será aproximadamente de 58.622mA. Por tanto con esta batería tendríamos una autonomía aproximada de 109 horas.

3. DISEÑO DE LA PCB

En esta sección se va a describir los diferentes criterios y decisiones que se han tomado a la hora del diseño de la PCB. Los costes de fabricación se pueden observar en el anexo 2.

Para el diseño de la PCB se ha seguido un esquema modular, primando un reducido tamaño y evitando interferencias entre las distintas partes. El tamaño de la PCB viene impuesto por el tamaño de la caja en la que va a ser instalada (66x43mm). Por la complejidad de la PCB se ha decidido utilizar una PCB de 2 capas.

En cuanto a las reglas de diseño se ha decidido utilizar una clase 4, debido a que es la clase menos restrictiva que nos permite utilizar el componente más crítico (el sensor magnético). Las clases son las restricciones que se imponen a la hora de diseñar una PCB en cuanto a anchura de las pistas, separación entre ellas, anchura de las vías, etc... Una clase menos restrictiva implica que el precio de la PCB aumente, así pues en la medida de lo posible se debe utilizar la clase menos restrictiva que permita la fabricación de la PCB.

Para el ruteo se han utilizado pistas de 0,3 mm de ancho para las señales y de 0,5 mm para las de alimentación siempre que ha sido posible. Para facilitar el enrutamiento se ha seguido el criterio de en su mayoría trazar pistas verticales en la cara top y pistas horizontales en la cara bottom.

En el posicionamiento de los componentes se ha ubicado el microcontrolador en el centro de la PCB para facilitar la conexión. Después, en el extremo derecho, se ha colocado el sensor magnético y, en el extremo izquierdo, se ha colocado el módulo ZigBee. Se ha procurado que estén lo más lejos posible ya que se podrían interferir. El cristal se ha colocado próximo al microcontrolador procurando un camino limpio y simétrico. En la parte inferior derecha se han colocado los componentes que usan el I2C ruteando un bus I2C, asegurando que el plano de masa esté correctamente entre las líneas para evitar interferencias. En la parte inferior izquierda se ha colocado el bloque de la fuente de alimentación y, por encima de esta, el circuito para la medida del nivel de batería. En el extremo superior de la placa se ha colocado el puerto de expansión del bus SPI y, en el extremo derecho de la placa, el puerto de expansión serie (UART). El puerto de programación, al ser un conector debería ir colocado en el borde de la placa, sin embargo se ha colocado en la parte central debido a que esto facilita el enrutamiento de las pistas y Dado que al tratarse de un puerto de programación no se utilizara cuando el dispositivo esté en funcionamiento.

En el Anexo 3 se pueden observar los planos del dispositivo. El esquemático y la PCB (la cara top, la cara bottom y la vista en 3D). También se puede observar una estimación del coste de fabricación de la PCB en el Anexo 2

CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL FIRMWARE

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se ha realizado el diseño del firmware del dispositivo. Se ha establecido una programación modular basada en distintas capas de programación que permitan una fácil actualización o reutilización del firmware. Para el desarrollo del firmware se ha utilizado el programador MAPLAB X IDE, el compilador utilizado ha sido el XC8. La programación del código ha sido realizada en lenguaje C.

La estructura de este capítulo es la siguiente: Primero se va a exponer la forma en la que se ha estructurado el código, después se explicará el funcionamiento de los distintos estados y por último se definirá el protocolo de comunicación utilizado.

2. ESTRUCTURA DEL CÓDIGO

Para el código de este dispositivo se ha decidido por una programación modular estructurada en 4 capas como se puede apreciar en la figura (Fig. 20). Se ha decidido este tipo de estructura por su facilidad de uso y porque permite una fácil reutilización y actualización del código.

En esta estructura en capas se ha definido una primera capa (Capa 1) en la que se han creado las bibliotecas de control de los protocolos de comunicación del dispositivo. Estas bibliotecas serán utilizadas por las capas superiores. En la siguiente capa (Capa 2) se han definido las bibliotecas de control para cada uno de los distintos componentes del dispositivo. En la capa 3 se han implementado cada uno de los estados posibles en los que se puede encontrar el dispositivo, se profundizará más sobre estos estados en la sección 3. Por último en la capa más alta (Capa 4) se ha creado la máquina de estados que es la encargada de gestionar los cambios de estado.

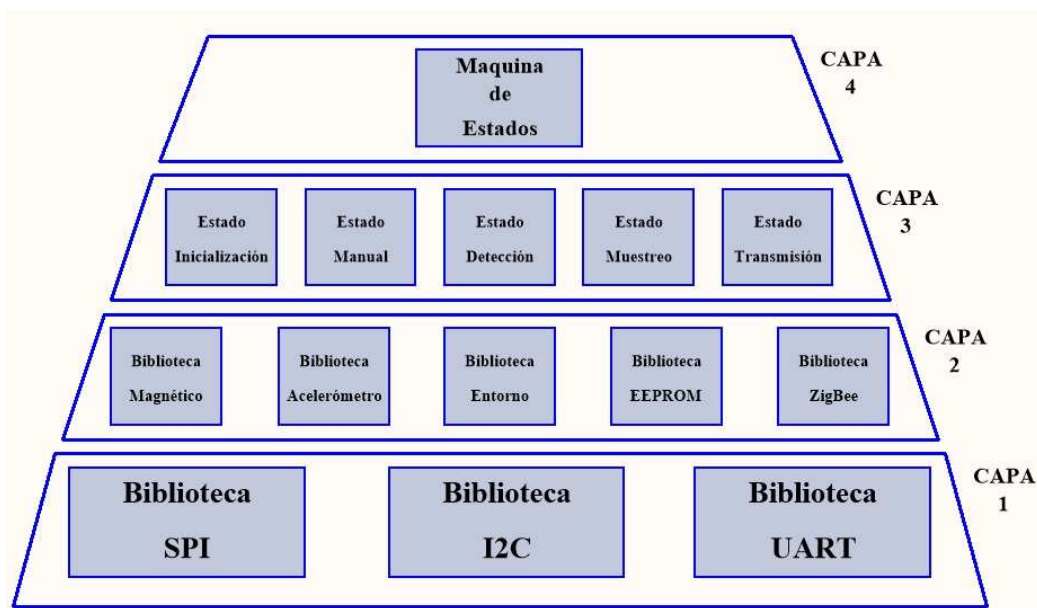


Fig. 20 Capas del código

3. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema completo estaría compuesto por el dispositivo y por un portátil. El dispositivo está incrustado en la calzada donde realiza la detección de los vehículos, posteriormente envía los datos obtenidos mediante una comunicación inalámbrica (ZigBee) a un equipo remoto (un portátil) para su análisis. En la figura siguiente (Fig. 21) se puede observar el funcionamiento general.



Fig. 21 Esquema de funcionamiento

El funcionamiento puede dividirse en 3 modos de funcionamiento distintos, un modo de muestreo continuo, un modo de detección y un modo manual en el que el dispositivo ejecuta las instrucciones recibidas por el usuario. Para modelar estos modos se ha utilizado una máquina de estados. Así pues el dispositivo va a poder estar en 5 estados diferentes como se aprecia en la siguiente figura (Fig. 22). A continuación se expone brevemente cada uno de ellos:

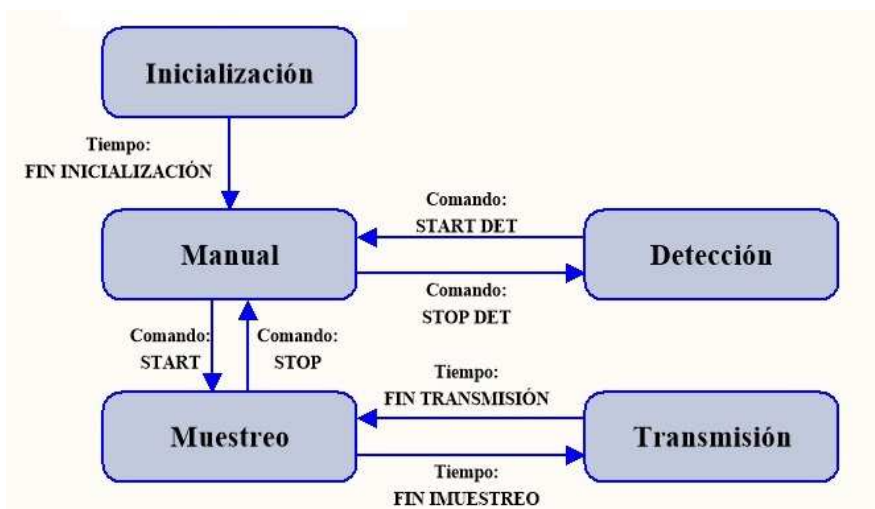


Fig. 22 Modos de funcionamiento

Inicialización: Es el estado en el que se inicia el dispositivo, en él se cargan los valores de las variables de inicialización que están almacenadas en la memoria. Cuando está listo para el funcionamiento pasa a estado manual.

Manual: En este estado el dispositivo funciona bajo demanda, espera instrucciones del usuario para cada acción.

Detección: En este estado el dispositivo detecta un vehículo cuando cruza por encima de él. Se almacena en la memoria EEPROM o se envía mediante el módulo ZigBee, dependiendo de la configuración del dispositivo.

Muestreo: Junto con el de transmisión forman el modo de muestreo continuo. En muestreo se leen las medidas de los sensores seleccionados.

Transmisión: En transmisión se envían los datos obtenidos de los sensores al usuario.

3.1 MODO INICIALIZACIÓN

El estado de espera es el estado inicial del dispositivo. En él se configuran las variables de estado. Como se puede apreciar en la siguiente figura (Fig. 23) el funcionamiento de este estado es el siguiente:

En la primera página de la memoria EEPROM están almacenadas las variables de configuración, así pues se van leyendo las variables y configurando con ellas el dispositivo. Cuando se ha terminado con la última variable se enciende el led verde que indica funcionamiento correcto y se pasa al estado Manual.

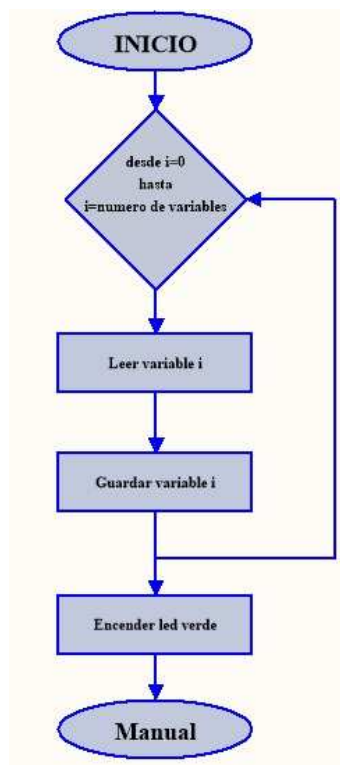


Fig. 23 Estado espera

3.2 MODO MANUAL

El estado manual es el primero en el que el usuario tiene control. Este estado funciona bajo demanda, es decir el dispositivo está esperando a que el usuario le dé una instrucción para realizarla. Este estado permite configurar los sensores, leer un único valor de un sensor, pasar a modo detección, descargar datos de detección de la memoria o pasar a muestreo continuo. El funcionamiento como se aprecia en la figura (Fig. 24), es el siguiente:

El dispositivo está esperando a que le llegue un mensaje. Cuando se recibe se comprueba si es correcto, si lo es se mira el código del mensaje y se realiza la acción asociada a ese código. Si el código coincide con el mensaje START entonces se pasa al estado muestreo, si el mensaje es START DET entonces se pasa al estado detección y si no es ninguno de estos se vuelve a esperar un nuevo mensaje.

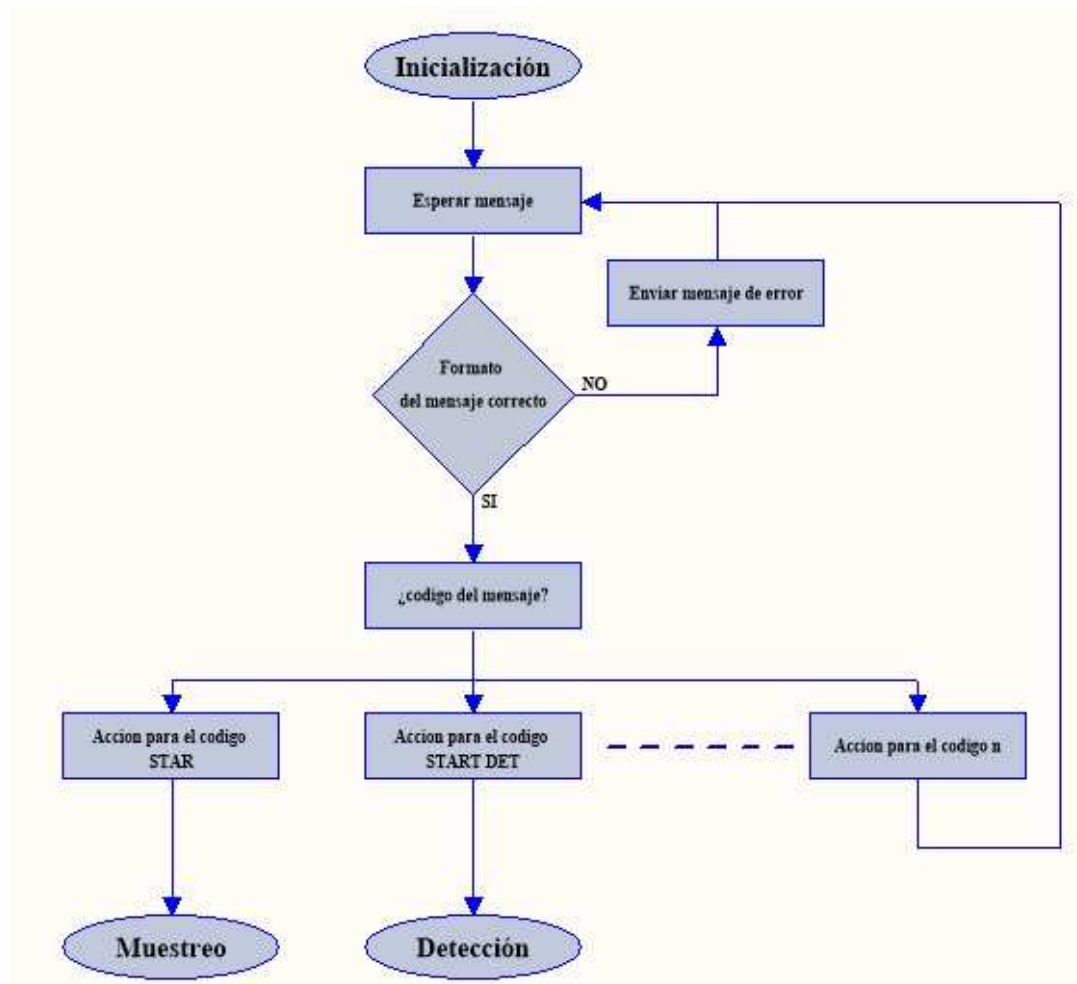


Fig. 24 Estado manual

3.3 DETECCIÓN

Como ya se ha mencionado en varias ocasiones el objetivo final del proyecto es el desarrollo de un dispositivo de pruebas, para comprobar la tecnología de la detección de vehículos mediante la medida del campo magnético. En el modo de funcionamiento de detección se va a realizar un prototipo de programa de detección de vehículos. En este programa se detectará el paso de un vehículo y se almacenará el tiempo de paso y la fecha.

El funcionamiento de este modo como se puede observar en la siguiente figura (Fig. 25) es el siguiente, el dispositivo espera a que detecte un vehículo o reciba un mensaje del usuario. Si ha detectado un vehículo calcula el tiempo de tránsito y se calcula la fecha. Después se almacena en la memoria EEPROM y se vuelve al estado inicial. Si lo que se ha detectado ha sido un mensaje, se comprueba que el mensaje sea de salida de este estado y si es así se vuelve al estado manual, si no es así se vuelva a esperar detección.

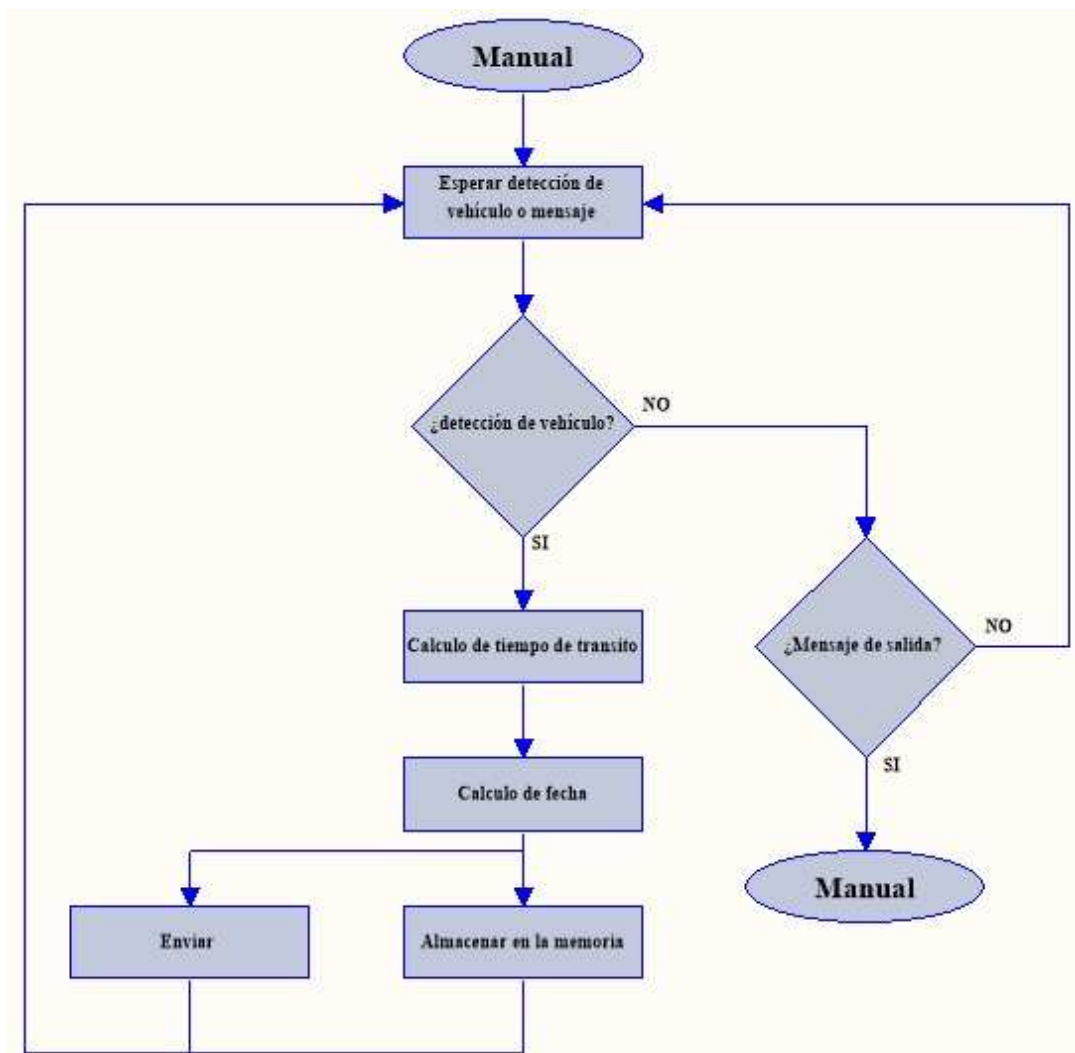


Fig. 25 Modo de detección

Para la detección de vehículo se va a realizar un algoritmo de detección por umbral. Es posible que no se trate del algoritmo más eficiente de detección, pero con los datos y las pruebas que se tienen es el más apropiado para implementar en esta fase del desarrollo. En la figura (Fig. 26) se puede observar la huella magnética de un vehículo, esta huella se ha extraído de la prueba de campo en los anexos. Se va a definir un umbral de detección, cuando la medida del campo magnético supere ese umbral, se va a considerar que es el comienzo del paso de un vehículo y cuando pase por debajo de ese umbral se va a considerar el fin del paso del vehículo. Con este sencillo algoritmo se va a detectar el paso de un vehículo, pero como se aprecia en la figura el tiempo de transito detectable es distinto del tiempo de transito del vehículo, aunque se considera que son proporcionales.



Fig. 26 Umbral de detección

En cuanto al formato de almacenamiento de los datos, como ya se ha visto en el capítulo 3, diseño del hardware, se ha utilizado 2 Bytes como contador global del número de vehículos. Después se almacena para cada vehículo un indicador, que será también de tipo Short y el valor del tiempo de transito que será un dato de tipo Float, es decir 4 Bytes. Para la fecha se reserva 2 Bytes para el año, 1 Byte para el mes, 1 Byte para el día, 1 Byte para la hora y 1 Byte para el minuto. En la siguiente tabla (Tabla 20) se observa el formato de almacenamiento de los datos.

Indicador	Tiempo de transito	Año	Mes	Día	Hora	Minuto
2 Bytes	4 Bytes	2 Bytes	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte

Tabla 20 Formato de almacenamiento de datos de detección de vehículos

3.4 MODO MUESTREO

El estado de muestreo forma junto con el estado de transmisión el modo de funcionamiento de muestreo continuo. El objetivo del modo de muestreo continuo es leer continuamente los sensores seleccionados. Para ello en este estado se va a leer los sensores seleccionados y a preparar el paquete de datos que se enviará en el modo de transmisión.

El funcionamiento de este estado como se puede apreciar figura (Fig. 27) es el siguiente, primero se leen los sensores habilitados por el usuario. Con estas medidas se prepara el paquete de datos que se enviará en el modo de transmisión. Después se espera el tiempo de muestreo y se comprueba si se ha recibido el mensaje de salida del estado, si se ha recibido se vuelve al modo manual y si no se vuelve al inicio.

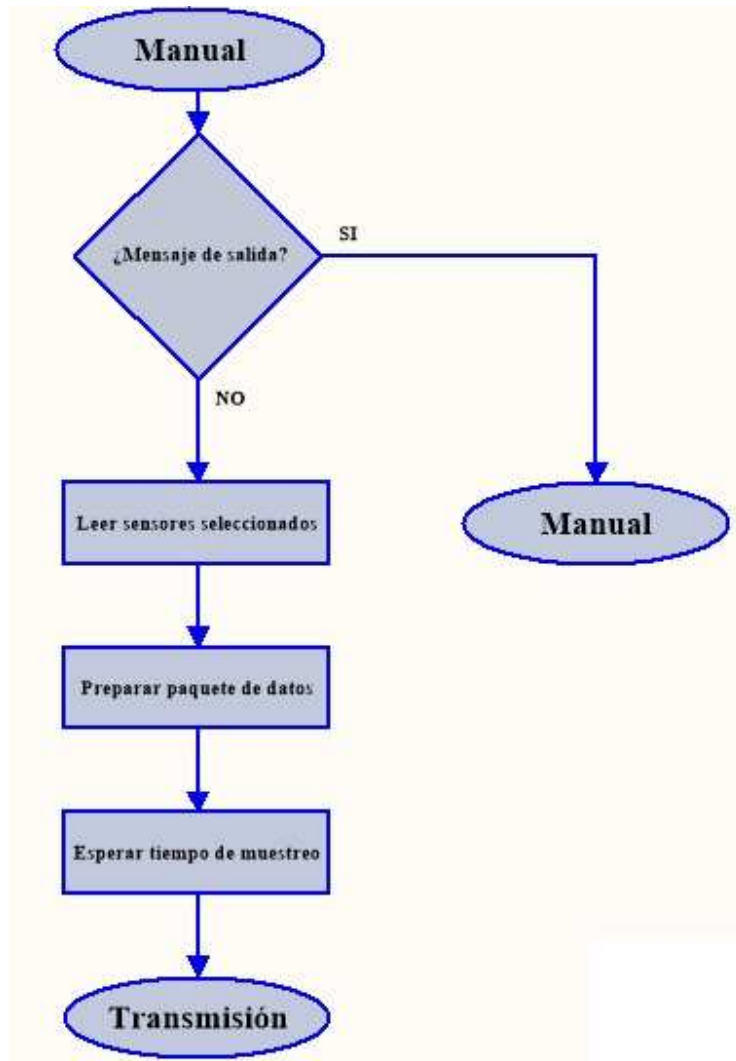


Fig. 27 Modo de muestreo

3.5 TRANSMISIÓN

El estado de transmisión forma parte del modo de muestreo continuo. El objetivo de este estado es únicamente enviar el paquete de datos que se ha preparado en el estado de muestreo.

El modo de funcionamiento es muy simple, cuando se entra en este estado se comienza a enviar el paquete de datos preparado en el estado anterior. Cuando es enviado completamente se vuelve al estado de muestreo.



4. PROTOCOLO DE COMUNICACIONES

Como ya se ha visto en el capítulo 3, diseño del hardware, se ha establecido una comunicación bidireccional con el usuario mediante un módulo ZigBee. Este protocolo permite la creación de redes malladas entre dispositivos y nodos de control. En este caso se va a diseñar una comunicación más sencilla, al solo necesitarse enviar paquetes de datos de un PC al dispositivo y viceversa. Para esta tarea se va a utilizar el modo de cable virtual, que permite enviar datos entre ambos equipos de forma sencilla. A continuación se van a exponer el formato de los paquetes de datos enviados por el dispositivo y los distintos comandos de control.

4.1 FORMATO

En la tabla siguiente (Tabla 21) se puede apreciar el formato del paquete de datos enviado por el dispositivo. Se ha decidido que el contenido del mensaje puede variar dependiendo de los sensores activados por el usuario. Así pues en caso de estar todos sensores activos el orden de los datos sería: Primero el sensor magnético, segundo el acelerómetro y por últimos el sensor de entorno. Para todos los valores numéricos de estos sensores se ha optado por un Float, de 4 Bytes.

De esta manera el formato del paquete enviado quedaría: Primero se envía un Byte con el tamaño del paquete completo, luego un Byte donde se indican las medidas que se incluyen en el mensaje, después si se ha seleccionado el sensor magnético se enviará un carácter “M” seguido de las medidas del sensor magnético para los 3 ejes. A continuación, si el acelerómetro esta seleccionado, se enviará un carácter “A” seguido de las medida para cada uno de los ejes. Por último, si el sensor de entorno esta seleccionado, se enviará un carácter “E” seguido de la medida de la temperatura y de la humedad. Con este formato, en el caso de que tuviéramos seleccionados todos los sensores, el paquete de datos tendría un tamaño de 37 Bytes.

LEN	HEA	M	X	Y	Z	A	X	Y	Z	E	Temp	Hum
1	1	1	4	4	4	1	4	4	4	1	4	4
Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte

Tabla 21 Formato del paquete de datos

En la siguiente tabla (Tabla 22) se puede observar el formato del Byte HEA. En este Byte se indican las medidas incluidas en el mensaje. Las medidas incluidas se indican con un 1 y las no incluidas con un 0. Los bits no definidos siempre tienen un 0.

HEA							
0	0	0	Entorno	0	Acelerómetro	0	Magnético
bit 7							bit 0

Tabla 22 Formato del Byte HEA

4.2 COMANDOS

En cuanto a los comandos de control se ha utilizado el siguiente formato: Están compuestos por 3 Bytes, el primer Byte es el código del mensaje, el segundo es la longitud del contenido y el tercer Byte es el contenido del mensaje.

Los comandos **START** y **STOP** sirven para entrar y salir del modo de muestreo continuo. Los comandos **START DET** y **STOP DET** sirven para entrar y salir del modo de detección de vehículos, con los comandos **SEND** y **SAVE** se decide si en el modo detección se envían los datos o se guardan en la memoria y con el comando **LOAD** se recupera los datos cargados en la memoria. Los mensajes **Enable...** y **disable...** sirven para activar o desactivar la medida de esa magnitud en el modo de muestreo continuo. Por último los mensajes **MAG**, **ACEL** y **ENTORNO** devuelven una única medida del sensor magnético, del acelerómetro y de la humedad y temperatura respectivamente.

En la siguiente tabla (Tabla 23) se muestran todas las instrucciones definidas.

NAME	CMD	LEN	MEN	DES
START	0x01	0x01	0xA0	Empezar muestreo continuo
STOP	0x02	0x01	0xA0	Parar muestreo continuo
ACK	0x03	0x01	0xA0	Mensaje recibido correctamente
NACK	0x04	0x01	0xA0	Mensaje no recibido correctamente
START DET	0x05	0x01	0xA0	Empezar estado de detección
STOP DET	0x06	0x01	0xA0	Parar estado de detección
SEND	0x07	0x01	0xA0	En modo detección enviar datos
SAVE	0x08	0x01	0xA0	En modo detección guardar datos
LOAD	0x09	0x01	0xA0	Cargar los datos de detección de la memoria
Bat level	0x0A	0x01	0xA0	Devuelve el nivel de la batería
Enable MAG	0x0B	0x01	0xA0	Activa la lectura del magnético
Enable ACEL	0x0C	0x01	0xA0	Activa la lectura del Acelerómetro
Enable entorno	0x0D	0x01	0xA0	Activa la lectura del entorno
Disable MAG	0x0E	0x01	0xA0	Desactiva la lectura del magnético
Disable ACEL	0x0F	0x01	0xA0	Desactiva la lectura del Acelerómetro
Disable entorno	0x10	0x01	0xA0	Desactiva la lectura del entorno
MAG	0x11	0x01	0xA0	Devuelve una medida del magnético
ACEL	0x12	0x01	0xA0	Devuelve una medida del acelerómetro
ENTORNO	0x13	0x01	0xA0	Devuelve una medida del entorno

Tabla 23 Comandos de control

En el modo manual también se pueden configurar los diferentes sensores del dispositivo. El protocolo de comunicación para ello es similar al de los comandos de control. En la tabla siguiente (Tabla 24) se pueden observar las distintas instrucciones de configuración.



CONFIG MAG1	0xA0	0x01	0b10000000	Compensar temperatura
----	0xA1	0x01	0b00000000	No compensar temperatura
----	0xA2	0x01	0b00000000	Frecuencia del sensor magnético 0,75Hz
----	0xA3	0x01	0b00000100	Frecuencia del sensor magnético 1,5Hz
----	0xA4	0x01	0b00001000	Frecuencia del sensor magnético 3Hz
----	0xA5	0x01	0b00001100	Frecuencia del sensor magnético 7,5Hz
----	0xA6	0x01	0b00010000	Frecuencia del sensor magnético 15Hz
----	0xA7	0x01	0b00010100	Frecuencia del sensor magnético 30Hz
----	0xA8	0x01	0b00011000	Frecuencia del sensor magnético 75Hz
----	0xA9	0x01	0b00011100	Frecuencia del sensor magnético 220Hz
CONFIG MAG2	0xB0	0x01	0b00000000	Ganancia del sensor magnético 1
----	0xB1	0x01	0b00100000	Ganancia del sensor magnético 2
----	0xB2	0x01	0b01000000	Ganancia del sensor magnético 3
----	0xB3	0x01	0b01100000	Ganancia del sensor magnético 4
----	0xB4	0x01	0b10000000	Ganancia del sensor magnético 5
----	0xB5	0x01	0b10100000	Ganancia del sensor magnético 6
----	0xB6	0x01	0b11000000	Ganancia del sensor magnético 7
----	0xB7	0x01	0b11100000	Ganancia del sensor magnético 8
CONFIG MAG3	0xC0	0x01	0b00000000	Sensor Magnético en muestreo continuo
----	0xC1	0x01	0b00000001	Sensor Magnético en muestreo discreto
----	0xC2	0x01	0b00000010	Dormir el Sensor Magnético
CONFIG ACEL1	0xD0	0x01	0b00000000	Margen del acelerómetro 2g
----	0xD1	0x01	0b00000001	Margen del acelerómetro 4g
----	0xD2	0x01	0b00000010	Margen del acelerómetro 8g
CONFIG ACEL2	0xE0	0x01	0b00000000	Acelerómetro en STANDBY
----	0xE1	0x01	0b00000001	Acelerómetro en Activo
----	0xE2	0x01	0b00000000	Frecuencia del Acelerómetro 800Hz
----	0xE3	0x01	0b00001000	Frecuencia del Acelerómetro 400Hz
----	0xE4	0x01	0b00010000	Frecuencia del Acelerómetro 200Hz
----	0xE5	0x01	0b00011000	Frecuencia del Acelerómetro 100Hz
----	0xE6	0x01	0b00100000	Frecuencia del Acelerómetro 50Hz
----	0xE7	0x01	0b00101000	Frecuencia del Acelerómetro 12,5Hz
----	0xE8	0x01	0b00110000	Frecuencia del Acelerómetro 6,25Hz
----	0xE9	0x01	0b00111000	Frecuencia del Acelerómetro 1,56Hz

Tabla 24 Comandos de configuración



CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

1. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este P.F.G se ha cumplido satisfactoriamente. Se ha desarrollado un prototipo de sensor de tráfico (conteo de vehículos) basado en sensor magnético, que permite capturar la “huella” magnética del paso de un vehículo.

A continuación se exponen los distintos objetivos parciales y su grado de cumplimiento:

Búsqueda de información: Se ha realizado una búsqueda de información sobre la detección de vehículos mediante la medida del campo magnético. La información obtenida de los artículos estudiados puede observarse en el capítulo 2 en la sección 3. Se ha obtenido toda la información necesaria para poder desarrollar este proyecto.

Síntesis de la información: Gracias a la información conseguida en el objetivo anterior han definido las características del sistema y los requisitos mínimos del sensor magnético. Estas características y requisitos pueden observarse en el Capítulo 2 en la sección 5.

Diseño del diagrama de bloques: Se ha realizado un diseño del dispositivo a nivel de diagrama de bloques. Este diseño se puede observar en el Capítulo 3 en la sección 2.


Elección de componentes: Con el diagrama de bloques finalizado se ha realizado una selección de los componentes que componen el sistema. Esta selección se puede observar en el Capítulo 3 en la sección 2.

Validación del sensor magnético: Para asegurar que el sensor magnético seleccionado es el adecuado se ha realizado una prueba de campo en un entorno real, utilizando para esta prueba una protoboard y el sensor elegido. No se ha podido realizar la prueba con un vehículo en movimiento dada la naturaleza no inalámbrica del prototipo. Sin embargo se ha realizado una prueba satisfactoria con un vehículo en reposo, que nos ha verificado la correcta elección del sensor. Esta prueba se puede observar en el anexo 1.

Diseño del Hardware: Se ha realizado el diseño final del hardware y posteriormente se ha fabricado un prototipo funcional del dispositivo. El diseño del hardware puede observarse en el Capítulo 3.

Diseño del Firmware: Se ha realizado el diseño de un Firmware que ha sido implementado en el prototipo. El diseño de este Firmware puede observarse en el Capítulo 4.

Como resultado final del cumplimiento de estos objetivos se ha realizado un prototipo funcional de dispositivo que va a permitir en el futuro seguir realizando pruebas de campo e investigando sobre esta tecnología.

	Sistema de monitorización de vehículos basado en sensor magnético
	Memoria

2. LÍNEAS FUTURAS

Como se ha visto en el apartado anterior el objetivo de este P.F.G ha sido cumplido satisfactoriamente. Sin embargo el diseño realizado dista mucho de ser un diseño comercial definitivo. Se trata de un prototipo para la realización de pruebas de campo.

A continuación se exponen posibles mejoras para este dispositivo:

Consumo: En el diseño de este dispositivo se ha intentado un consumo lo más reducido posible, aun así se ha primado un diseño que nos proporciona la mayor cantidad y calidad de información ya que el objeto es realizar pruebas y no funcionar durante un amplia cantidad de tiempo. Como mejora se podría eliminar los sensores no imprescindibles así como la interfaz luminosa y reducir los consumos del resto. Además se debería ajustar la elección de la batería para aumentar el tiempo de autonomía.

Sensores: Se ha establecido que el sensor magnético seleccionado es adecuado para esta función. Sin embargo es posible que exista algún sensor magnético más propicio, por eso se han dejado libres un puerto de expansión I2C y un puerto de expansión UART que permitirían probar nuevo sensores magnéticos. Además se ha incluido un acelerómetro que aunque no se ha analizado su utilidad se cree que podría ser de interés para la detección de vehículos, por ello otra mejora sería estudiar su utilidad.

Comunicaciones: Como comunicación con el usuario se ha optado por un protocolo ZigBee por considerarse una manera rápida de establecer una comunicación inalámbrica. Como ya se ha mencionado en el Capítulo 3, diseño del hardware, esta comunicación no sería la más propicia debido a su bajo poder de penetración. Por ello se ha dejado 2 puertos de expansión (I2C y UART) que permitirían probar distintos tipos de comunicación RF.

Algoritmo: El algoritmo de detección de vehículos propuesto se trata de una detección por umbral. Se ha decidido utilizar este por considerarse la manera más simple y rápida de realizar un algoritmo funcional. Sin embargo está muy lejos de ser el más óptimo para esta función. Como posible mejora futura se propone sustituir este algoritmo por otro más eficiente.



CAPÍTULO 6. TRABAJOS CITADOS

- [1] B. K. L. T. T. Phan, «MAGNETORESISTORS FOR VEHICLE DETECTION AND IDENTIFICATION,» pp. 3839-3843, 1997.
- [2] J. A. V. L. J. Pelegri, «Vehicle Detection and Car Speed Monitoring,» *IEEE*, pp. 1693-1695, 2002.
- [3] W. M. Zhou Feng, «A New SVM Algorithm and AMR Sensor Based Vehicle Classification,» *Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, pp. 421-425, 2009.
- [4] Y. L. Bo Yang, «Vehicle Detection and Classification for Low-Speed Congested Traffic With Anisotropic,» *IEEE SENSORS JOURNAL*, vol. 15, nº 2, pp. 1132-1138, 2015.
- [5] A. G. C. M. P.-C. J. M. P. Ramón V Cirilo Gimeno, «Improving Similarity Measures for Re-identification,» *ICICS*, 2013.
- [6] O. C. R. P.-A. E. Sifuentes, «Wireless Magnetic Sensor Node for Vehicle Detection,» *IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 11, NO. 8*, pp. 1669-1676, 2011.
- [7] B. Y. Y. C. Fuqiang Zou, «Traffic Light Control for a single intersection based on Wireless Sensor Network,» *The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, pp. 1040-1044, 2009.
- [8] L. B. W. Z. Lei Yalong, «A Novel Method of Automatic Vehicle Detection Based on Active Magnetic Theory,» *International Conference on Information, Networking and Automation*, vol. V2, pp. 382 - 385, 2010.



ANEXOS

ANEXO 1. PRUEBA DE CAMPO

1. INTRODUCCIÓN

Este anexo recoge la prueba de campo realizada con el primer prototipo del sistema. El objetivo es verificar si el sensor magnético es el adecuado para la detección de vehículos, además de obtener la “huella” magnética de un vehículo en reposo.

La estructura de este documento es la siguiente: Primero se ha definido el objetivo de este experimento, con qué equipo se ha utilizado y en qué condiciones se ha realizado. Después se ha expuesto los resultados obtenidos y por último se han presentado las conclusiones que se han extraído de ellos.

2. OBJETIVO

Con esta prueba de campo se pretende comprobar el comportamiento del dispositivo en un entorno real. Con ella se va a validar el funcionamiento de sensor magnético elegido, comprobando si el rango y la sensibilidad del mismo son adecuadas.

También con esta prueba se pretende observar la forma de la huella magnética de un vehículo en reposo. Esta huella, aunque difiera de la de un vehículo en movimiento, va a permitir realizar una primera aproximación de un algoritmo de detección de vehículos.

3. DESCRIPCIÓN DEL SETUP

Para verificar estos resultados se va a replicar la prueba de campo realizada por Sifuentes, Casas y Pallas-Areny [6] utilizando el siguiente dispositivo:

Para la realización de esta prueba se ha diseñado y fabricado un primer prototipo del sistema. Este prototipo tiene como sensor magnético una Demo Board HMC5983 (<https://aerospace.honeywell.com>), que es el mismo sensor magnético utilizado en el diseño final. Esta demoboard se ha conectado a la PCB de desarrollo PICKIT 44-PIN DEMO BOARD de Microchip (www.microchip.com), la cual tiene un microcontrolador PIC18F45K20.



Fig. 28 PICKIT 44-PIN DEMO BOARD

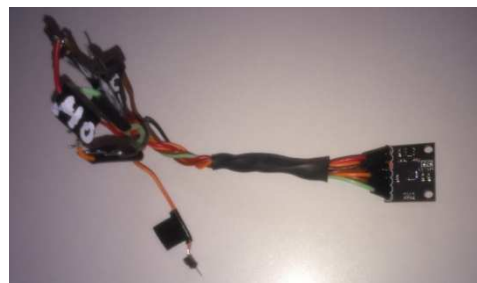


Fig. 29 Demo Board HMC5983

En cuanto a las comunicaciones, el valor de las medidas del campo magnético se envía a un portátil mediante un puerto UART para su futura interpretación.



El funcionamiento del dispositivo es el siguiente: cuando se inicia el sensor magnético comienza a recoger medidas del campo magnético en los 3 ejes. El microcontrolador recibe el valor de estas medidas mediante el puerto SPI, posteriormente estos datos son enviados a un portátil mediante el puerto UART. Para esta aplicación se ha elegido un rango de funcionamiento del sensor magnético de $\pm 1,3G$ y una sensibilidad de $0,92mG$.

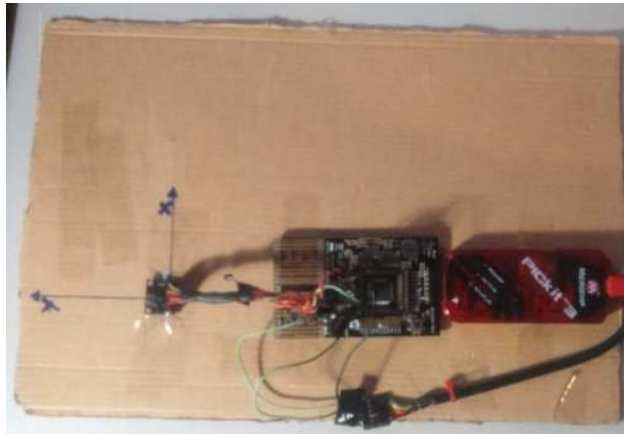


Fig. 30 Dispositivo

Se ha utilizado un Toyota Auris para la realización de esta prueba. Se ha seleccionado este vehículo por su disponibilidad y por tratarse de un vehículo de dimensiones adecuadas.



Fig. 31 Toyota Auris

4. METODOLOGÍA

En la realización de esta prueba se han imitado las condiciones de la prueba realizada en el artículo de Sifuentes, Casas y Pallas-Areny [6]. Para ello se ha medido el vehículo y se ha dividido en 10 partes iguales. Posteriormente estas divisiones se han marcado en el suelo. Adicionalmente se han tomado un punto delante del vehículo para ver cómo se deforma el campo magnético en las proximidades del vehículo.



Fig. 32 Divisiones real

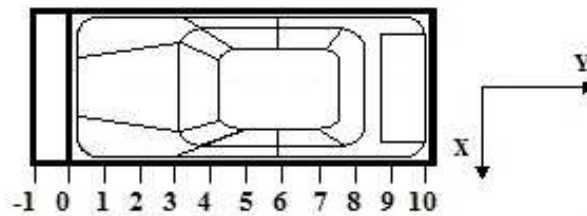


Fig. 33 Divisiones esquema

El primer paso es verificar que el lugar elegido para la realización de la prueba es el adecuado, la presencia de tuberías subterráneas o la proximidad de cables de alta tensión pueden producir grandes variaciones del valor del campo magnético terrestre a lo largo del aparcamiento utilizado. Para ello se ha comprobado que el campo magnético en todos los puntos marcados es uniforme, además de cuantificar su valor. Se han tomado 50 medidas en cada uno de los puntos y se ha calculado una media, así se pretende averiguar el valor del campo magnético en cada punto eliminando posibles datos anómalos en el sensor.

A continuación, se coloca el vehículo en el aparcamiento con la parte frontal encima de la marca de 0 y la parte posterior encima de la marca de 10 (ver Fig. 31). Se elige esta colocación por ser similar a la utilizada por Pallas-Areny [6], permitiendo así comparar los resultados obtenidos. El sensor se va a colocar a la altura de cada una de las marcas y en el centro del vehículo con el eje X de forma transversal al vehículo y el eje Y de forma longitudinal. Para cada punto se va a tomar 230 muestras para realizar una media y así eliminar posibles datos erróneos.



5. ANÁLISIS DE DATOS

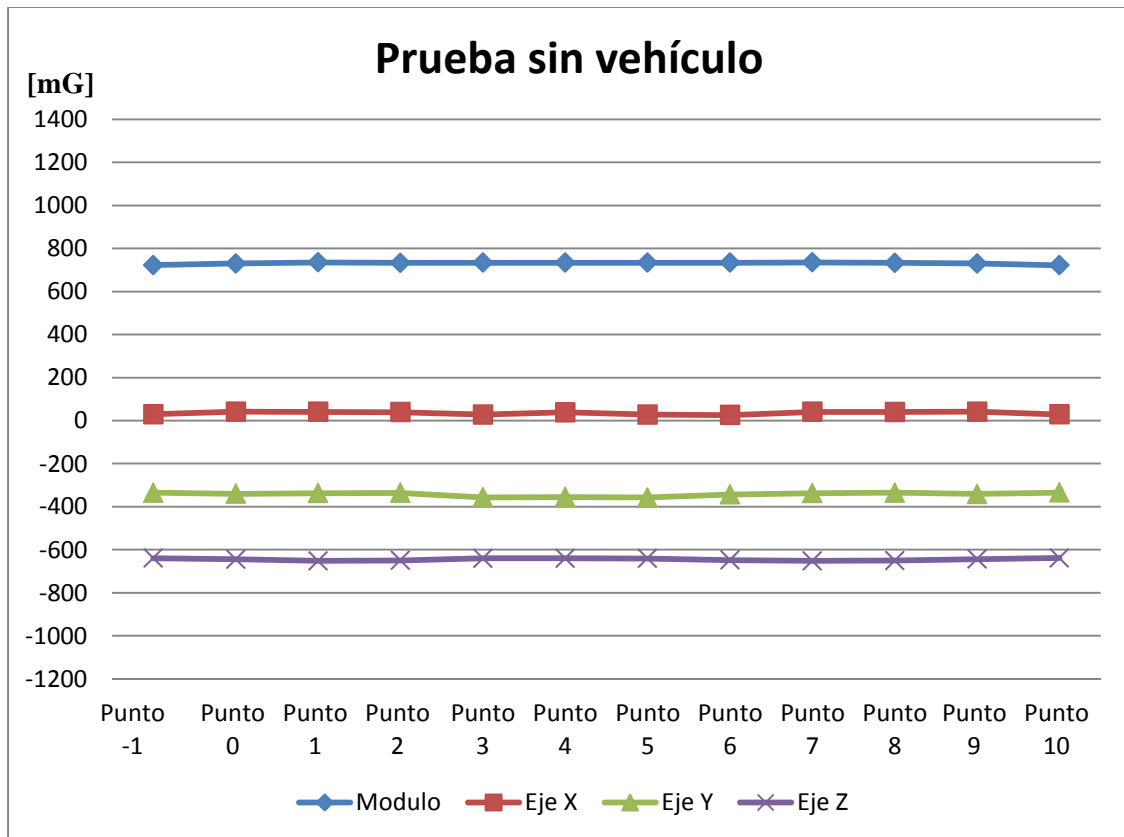


Fig. 34 Campo magnético sin vehículo

Como se puede apreciar en la figura (Fig. 34) tanto en cada eje como en módulo el campo magnético es uniforme y constante. Se puede apreciar que el campo magnético en el eje X es próximo a cero debido a que el campo magnético en esta zona está perpendicular a este eje. Por tanto, se verifica que el lugar es adecuado para poder realizar la prueba al no producirse grandes variaciones del campo magnético en la zona.

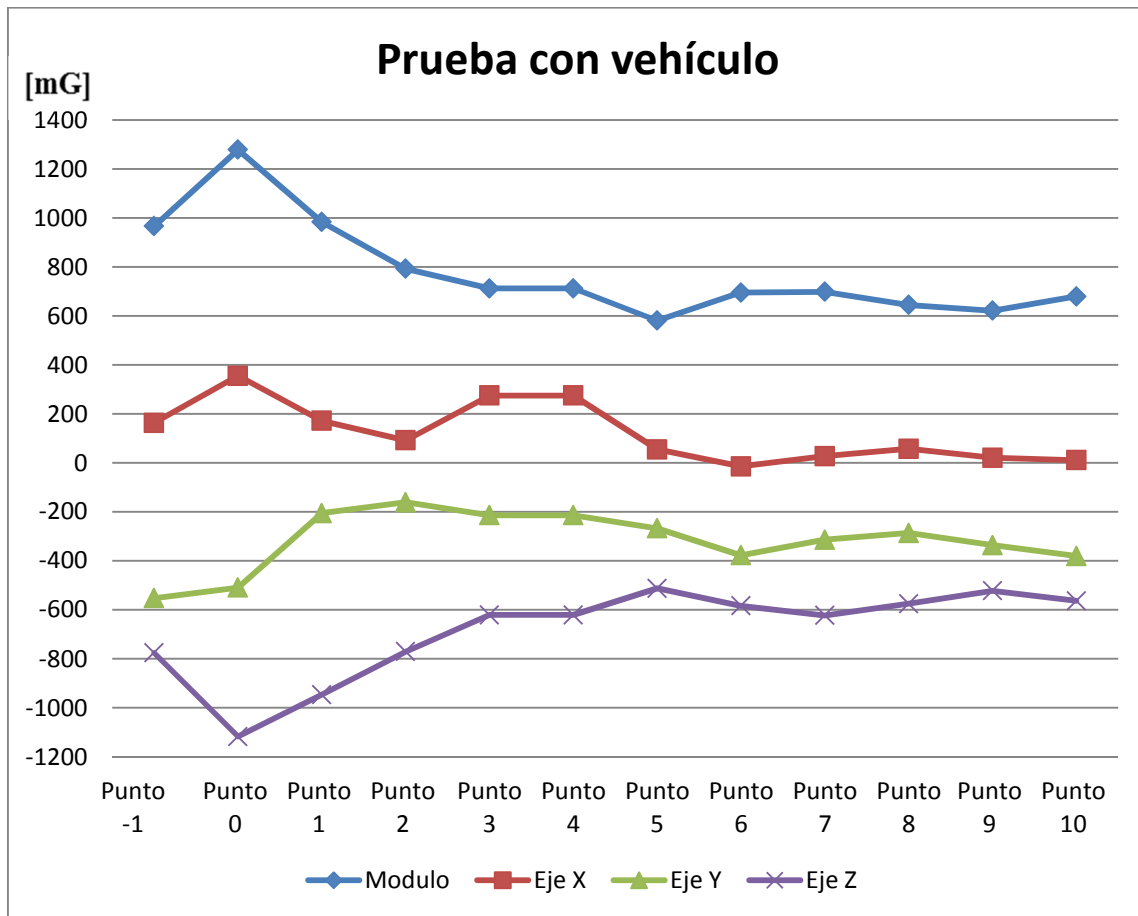


Fig. 35 Campo magnético con vehículo

En la figura (Fig. 35) se puede apreciar una deformación considerable del campo magnético a lo largo del eje longitudinal. Se observa un máximo del módulo del campo magnético en la parte frontal, debido probablemente a que en esa zona se encuentra el motor y es la zona con mayor concentración de metal del vehículo. También existe una ligera disminución del módulo en el resto. Teniendo en cuenta el valor del campo magnético en cada eje ocurre que tanto en el eje X como en el eje Z el valor aumenta mientras que en el eje Y el valor disminuye, eso quiere decir por tanto que la orientación del campo magnético también está variando. En conclusión, comparando la Fig. 34 con la Fig. 35 se puede apreciar claramente la presencia del vehículo en el segundo caso.

Esta huella obtenida para un vehículo en reposo varía para el mismo vehículo en movimiento. Aunque sería más apropiado realizar la prueba con el vehículo en movimiento, se ha optado por un vehículo en reposo por no disponer aún de un prototipo wireless. Se espera que, aunque la huella magnética varíe, posea un rango similar a en reposo.

A continuación, se van a comprobar los resultados de esta prueba con los de la prueba con vehículo con los obtenidos por Pallas-Areny [6]. Para ello se va a comparar el módulo del campo magnético obtenido con el de uno de los vehículos del artículo.

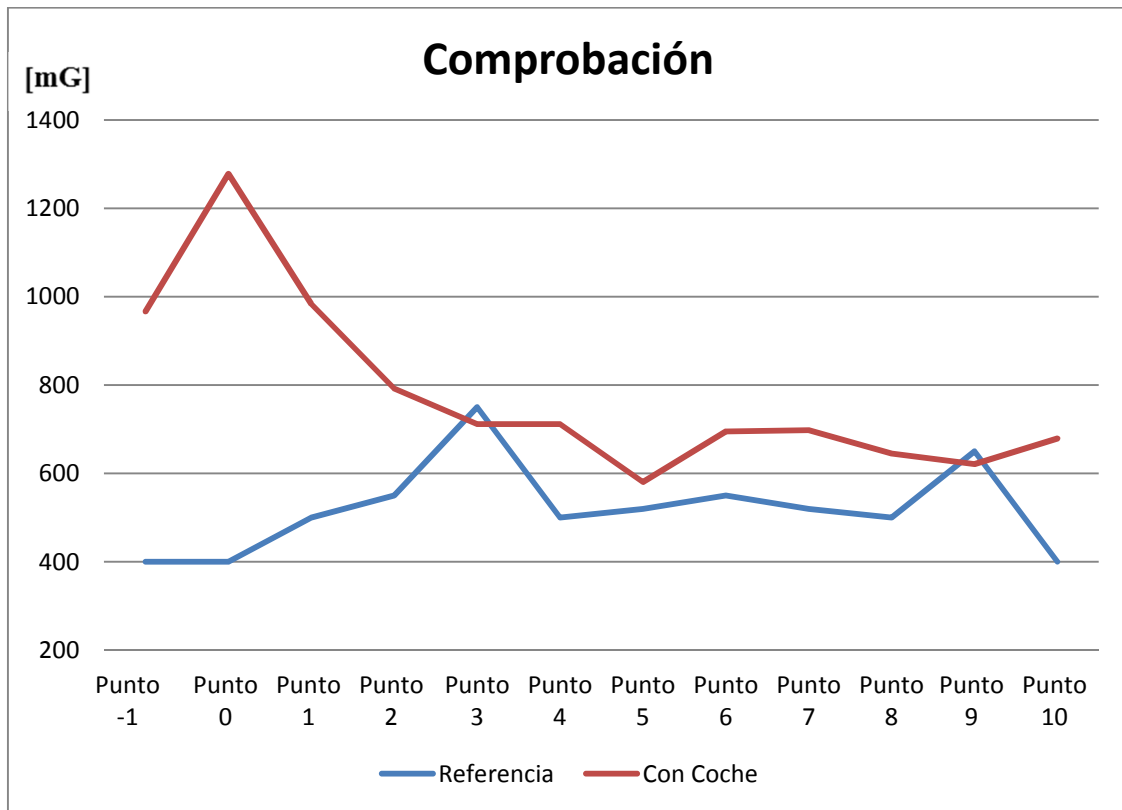


Fig. 36 Comparativa de resultados

Como se puede comprobar en la Fig. 36, aunque los resultados son distintos por no tratarse del mismo vehículo y no realizarse en el mismo lugar y con las mismas condiciones, las magnitudes de las medidas son comparables. Esto demuestra que la huella magnética varía para distintos vehículos y condiciones, pero siempre produce una perturbación medible.

6. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos en esta prueba de campo, se ha comprobado que el sensor magnético elegido es adecuado para esta función y que el dispositivo sería capaz de detectar vehículos mediante la medida del campo magnético. Se ha establecido un rango de medida y una sensibilidad adecuadas para esta función. Además se ha verificado que distintos vehículos producen distintas huellas magnéticas, pero en todos los casos son medibles para poder detectar el vehículo.

También se ha obtenido la “huella” magnética de un vehículo en reposo y, aunque diferirá de la de un vehículo en movimiento, va a permitir la realización de un primer algoritmo de detección.



ANEXO 2. ESTIMACIÓN DE COSTES

En la tabla siguiente (Tabla 25) se han estimado el costes de fabricación del dispositivo para 1, 100 y 1.000 unidades. La estimación de los costes se ha realizado en base a los precios de FARNELL (<http://es.farnell.com/>) y de MICROCHIP (<https://www.microchipdirect.com/>) sin tener en cuenta el IVA. Para los componentes pasivos se ha estimado un coste del 20% del subtotal. Los costes se centran solo en la PCB y sus componentes, no se ha tenido en cuenta el envoltorio (Caja, batería, etc...).

Para el precio de la PCB se ha tenido en cuenta unos costes fijos de 200€ y unos costes variables de fabricación de cada PCB. Para la estimación de estos costes variables se ha utilizado la página DFRobots (<http://www.dfrobot.com/>).

El precio total que se da es el precio de fabricación de una unidad en el caso de fabricar 1,100 y 1000 unidades respectivamente. El precio esta expresado en Euros sin tener en cuenta el IVA.

Componente	Cantidad	Fabricante	Precio 1	Precio 100	Precio 1000
CRISTAL	1	CITIZEN	0,76	0,48	0,42
LEDS	1	AVAGO	0,37	0,30	0,15
MOSFET	1	NXP	0,14	0,10	0,08
LDO	1	NXP	0,27	0,23	0,19
MICROCONTROLADOR	1	MICROCHIP	2,72	2,26	2,08
SENSOR MAGNÉTICO	1	HONEYWELL	1,69	1,43	1,43
ZIGBEE	1	Telegesis	16,51	15,37	15,37
ACELERÓMETRO	1	Freescale	0,98	0,56	0,556
EEPROM	1	Microchip	2,57	2,37	2,25
HUM & TEMP	1	SENSIRION	3,98	3,24	3,24
SUBTOTAL			30	26,34	25,77
COMPONENTES PASIVOS			6	5,27	5,15
PCB			204,71	6,71	4,91
TOTAL			270,70	64,66	61,596

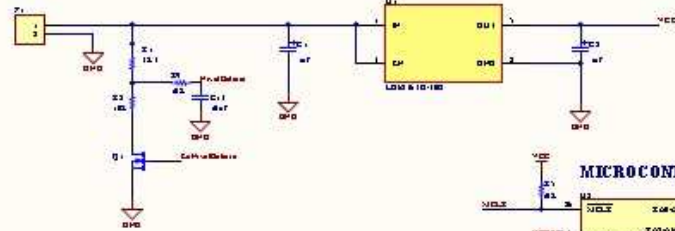
Tabla 25 Costes



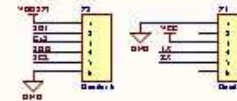
ANEXO 3. PLANOS

1. ESQUEMÁTICO

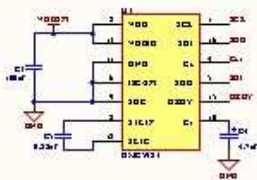
FUENTE DE ALIMENTACION



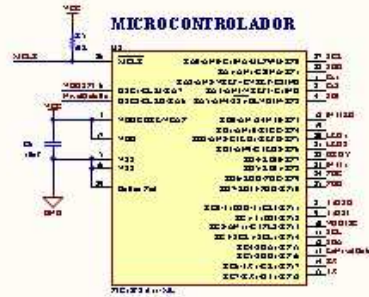
FUERTOS DE EXPANSION



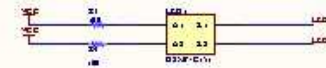
SENSOR MAGNETICO



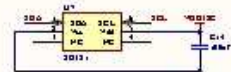
MICROCONTROLADOR



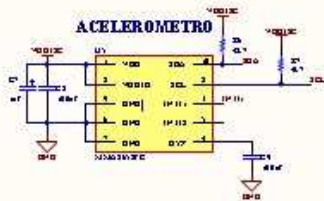
LEDs



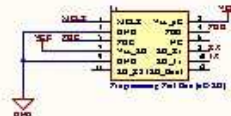
SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA



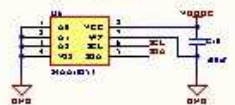
ACELEROMETRO



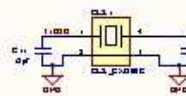
FUERTO DE PROGRAMACION



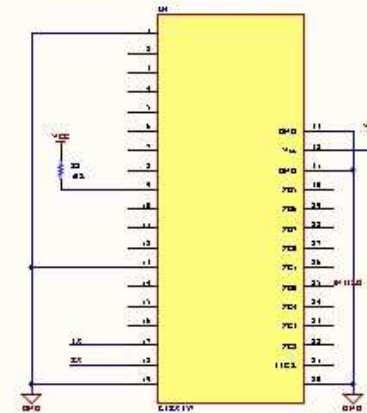
MEMORIA



CRISTAL DEL RTC

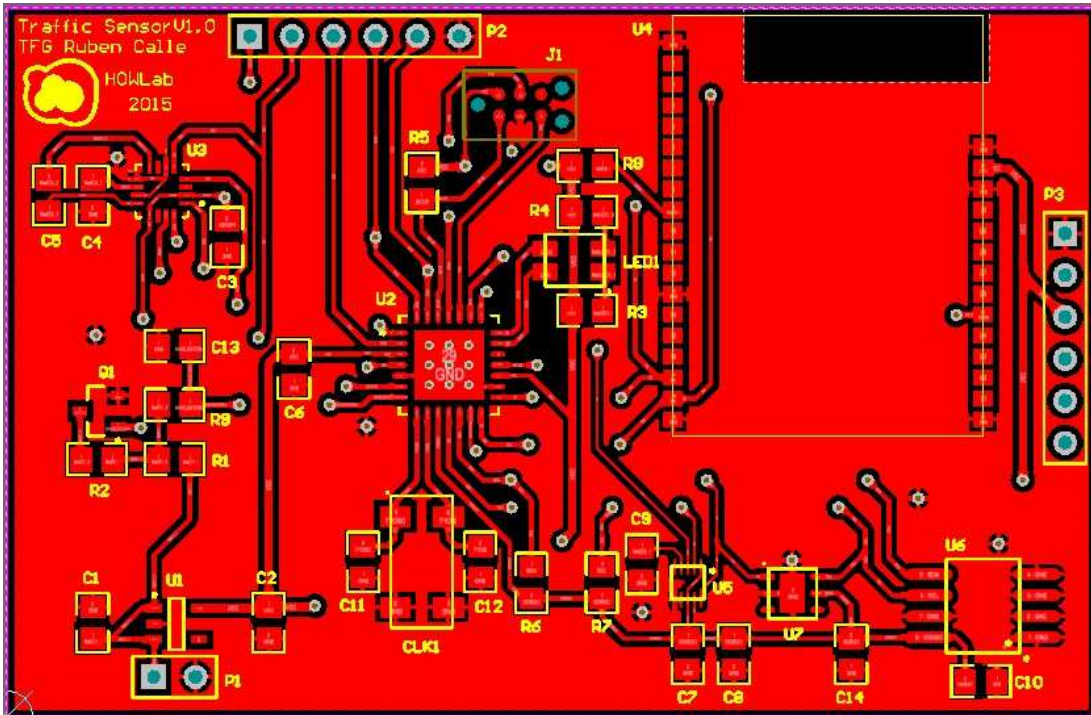


COMUNICACION

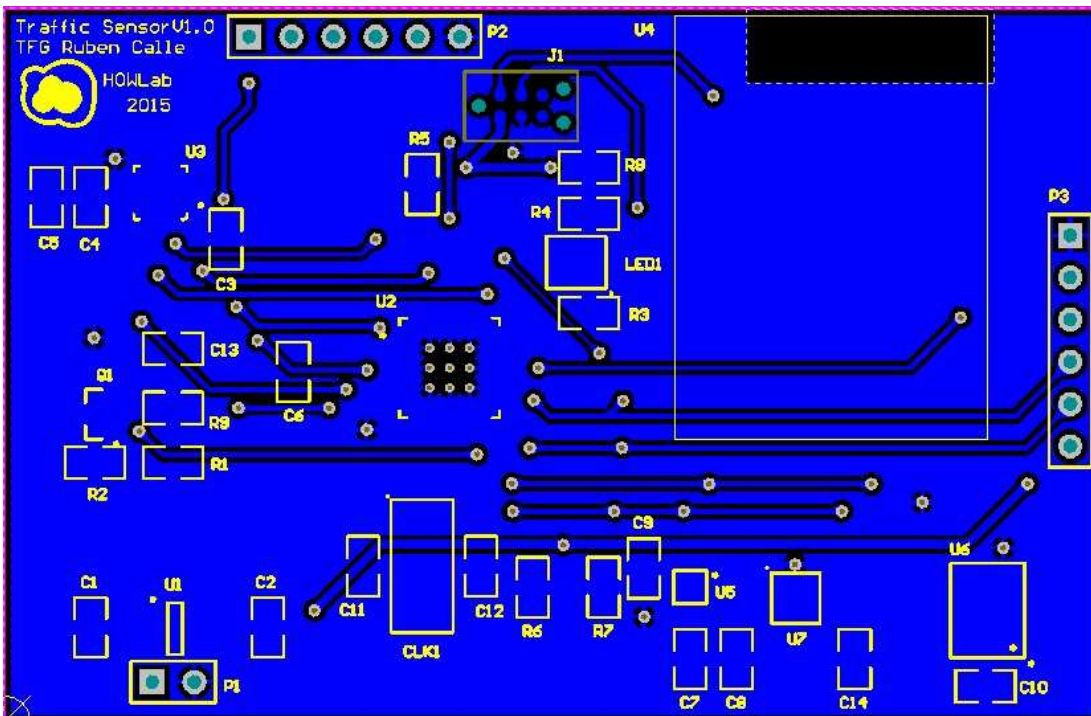




2. PCB CARA TOP



3. PCB CARA BOTTOM





4. PCB 3D

