



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ÁREA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, DE
COMPUTADORES Y SISTEMAS**

TRABAJO FIN DE MÁSTER Nº 19010029

MOB – IOT: ANÁLISIS INTELIGENTE DE LA MOVILIDAD

DÑA. HEVIA VILLANUEVA, MARÍA

FECHA: JULIO 2019

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1.- Introducción | 5 |
| 1.1.- Antecedentes | 5 |
| 1.2.- Objetivos | 9 |
| 1.3.- Alcance..... | 10 |
| 2.- Estudios y análisis previos | 12 |
| 2.1.- Métodos intrusivos | 12 |
| 2.1.1.- Tubo neumático de carretera..... | 13 |
| 2.1.2.- Lazos inductivos | 14 |
| 2.1.3.- Sensores magnéticos | 16 |
| 2.2.- Métodos no intrusivos | 24 |
| 2.2.1.- Procesador de imagen de video..... | 24 |
| 2.2.2.- Sensores infrarrojos..... | 26 |
| 2.2.3.- Sensores ultrasónicos | 28 |
| 2.3.- Comparativa | 30 |
| 3.- Metodología de trabajo | 32 |
| 3.1.- Herramientas de software..... | 32 |
| 3.1.1.- Arduino IDE..... | 32 |
| 3.1.2.- Node-RED..... | 34 |
| 3.1.3.- Autodesk Inventor Professional | 35 |
| 3.2.- Herramientas de Hardware..... | 35 |
| 3.2.1.- HMC5883L | 36 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2.- Placa Arduino Uno..... | 37 |
| 3.2.3.- Impresora 3D..... | 37 |
| 3.3.- Organización del trabajo | 38 |
| 3.3.1.- Requisitos funcionales | 40 |
| 3.3.2.- Diseño de los sensores | 41 |
| 3.3.3.- Requisitos de la herramienta de procesamiento | 42 |
| 4.- Trabajo realizado y resultados obtenidos | 44 |
| 4.1.- Estudio de la instalación | 44 |
| 4.1.1.- Enterrados individualmente | 45 |
| 4.1.2.- Colocados en una tira..... | 47 |
| 4.1.3.- Anclados individualmente a la superficie | 50 |
| 4.2.- Prototipo de sensor..... | 52 |
| 4.2.1.- Conexiones..... | 52 |
| 4.2.2.- Multiplexor..... | 54 |
| 4.2.3.- Planos | 55 |
| 4.2.4.- Código..... | 58 |
| 4.2.5.- Carcasa | 59 |
| 4.3.- Fase de pruebas | 67 |
| 4.3.1.- Pruebas de variación en el tiempo..... | 67 |
| 4.3.2.- Pruebas de temperatura | 69 |
| 4.3.3.- Pruebas en vacío..... | 71 |
| 4.3.4.- Pruebas con diferentes objetos | 76 |
| 4.3.5.- Pruebas bajo diferentes vehículos | 81 |
| 4.3.6.- Pruebas para determinar el umbral..... | 82 |

| | |
|---|-----|
| 4.3.7.- Pruebas de resistencia de la carcasa..... | 83 |
| 4.4.- Algoritmo para la detección de vehículos..... | 85 |
| 4.4.1.- Obtención del umbral..... | 85 |
| 4.5.- Node – RED | 91 |
| 5.- Planificación y presupuesto | 97 |
| 5.1.- Cronograma..... | 97 |
| 5.2.- Gastos de personal | 98 |
| 5.3.- Gastos de aprovisionamiento | 99 |
| 5.4.- Costes externos | 99 |
| 5.5.- Costes indirectos | 100 |
| 5.6.- Costes de gestión..... | 100 |
| 5.7.- Resumen presupuesto..... | 101 |
| 6.- Conclusiones y trabajo futuro | 102 |
| 7.- Bibliografía | 103 |
| PLANOS | 105 |

1.- INTRODUCCIÓN

El presente TFM forma parte del proyecto “MOB-IoT: análisis inteligente de la movilidad”, presentado por la empresa LOCIS SIGTech al Ayuntamiento de Gijón, a través de IMPULSA, como parte de la iniciativa “Gijón Crece”, cuyo objetivo es facilitar la puesta en marcha de actividades económicas en el municipio a través de diferentes tipologías de incentivos económicos. La finalidad de estas ayudas es el impulso y apoyo a la realización de actuaciones dirigidas a la promoción de proyectos que se lleven a cabo dentro del ámbito territorial del municipio de Gijón y que permitan alcanzar progresivamente los objetivos estratégicos establecidos en materia de promoción económica e innovación, contribuir a la dinamización de la actividad económica local, y conseguir un crecimiento inteligente, sostenible y saludable para la ciudad.

MOB-IoT es un sistema inteligente de apoyo a la toma de decisiones en las acciones de mejora de la movilidad que se quieren llevar a cabo en las ciudades en las que intervengan los sensores de aparcamiento y el internet de las cosas (IoT). El sistema se fundamenta en una red de sensores, su hardware asociado y un software SIG de recogida, integración y análisis de datos que, de manera temporal y móvil, sirva para realizar un estudio de la situación real en una zona de interés.

1.1.- Antecedentes

Hoy en día no podemos imaginar nuestra vida sin un coche. Con la rápida proliferación de las ciudades el número de vehículos en carreteras, calles y zonas de aparcamiento aumenta constantemente, lo que conduce a una mayor cantidad de tráfico y accidentes. De igual manera, los problemas de estacionamiento se están volviendo omnipresentes y están creciendo a un ritmo alarmante en todas las ciudades importantes. Encontrar una plaza de aparcamiento libre en el laberinto que es el centro de una ciudad es una tarea que se está volviendo cada vez más difícil y a menudo funciona por el método de prueba y error.



Figura 1.1.- Aparcamiento en Gijón.

Debido a esto, el usuario medio pasa una parte considerable del viaje buscando una plaza de aparcamiento libre donde poder estacionar su coche, lo cual tiene un gran impacto en el medio ambiente, la calidad de vida y la economía, ya que se incrementa el consumo de combustible, se producen gases de efecto invernadero y se gasta tiempo innecesariamente.



Figura 1.2.- Calle de Gijón.

Una solución a este problema es crear e implementar un Sistema de Transporte Inteligente (ITS) que permita el uso óptimo de la infraestructura vial existente mediante la gestión interactiva de todo el tráfico. De esta manera el tiempo necesario y la distancia a conducir podrían reducirse significativamente si los conductores fueran dirigidos directamente a una plaza de aparcamiento libre.

El transporte inteligente, las ciudades inteligentes y el Internet de las cosas son términos que nos rodean a todos en la actualidad. Con el crecimiento constante de la industria automotriz, se espera que la demanda de los servicios de estacionamiento inteligente crezca rápidamente en un futuro cercano. Uno de los factores clave que permite considerar soluciones inteligentes, específicamente diseñadas para áreas urbanas, es la disminución constante del precio de los sensores, capaces de proporcionar información sobre flujos de tráfico, condiciones ambientales y otros parámetros. Se están realizando numerosas investigaciones y proyectos en todo el mundo para implementar estos mecanismos de gestión de aparcamiento inteligente y más eficiente.

Los sistemas de transporte inteligentes varían en las tecnologías aplicadas. Las aplicaciones más avanzadas integran datos en vivo y feedback de diferentes fuentes, como sistemas de información, guiado de aparcamiento o información meteorológica. Los sistemas de administración básicos son:

- Sistemas de navegación de automóviles
- Sistemas de control de señales de tráfico
- Señales de mensajes variables
- Reconocimiento automático de matrículas
- Cámaras de velocidad para aplicaciones de vigilancia.

El elemento principal en los sistemas de gestión de transporte inteligentes es la capacidad para detectar vehículos, lo que permite recopilar información sobre la densidad del tráfico y la velocidad del vehículo. Todos estos sistemas, de igual modo, requieren información fiable sobre el estado de ocupación de las zonas de estacionamiento.

El uso generalizado de las tecnologías inalámbricas junto con los avances recientes en las aplicaciones orientadas a gestionar el tráfico manifiesta que la difusión de datos digitales podría ser la clave para resolver estos problemas de aparcamiento emergentes. La tecnología de redes de sensores inalámbricos (WSN) empieza tener una gran atención y está creciendo rápidamente debido a su enorme potencial de aplicación en diversos campos.

Las redes de sensores inalámbricos son una buena opción para brindar una solución fácil y rentable a este servicio por una variedad de razones, como su facilidad de despliegue en aparcamientos existentes sin tener que instalar cableado nuevo y costoso, y la flexibilidad para combinarlos con sensores sofisticados pero baratos, que pueden realizar un seguimiento preciso de los vehículos. Es por esto que el proceso de integración de los dispositivos en la infraestructura existente y la formación de grandes redes de sensores se ha vuelto cada vez menos complicado.

Las redes de sensores inalámbricos generalmente consisten en un gran número de nodos que se despliegan en el área urbana y están equipados con diferentes tipos de unidades de detección, computación y comunicación. Estas unidades funcionales permiten que los nodos WSN recopilen, procesen y transmitan de manera cooperativa la información al sumidero.

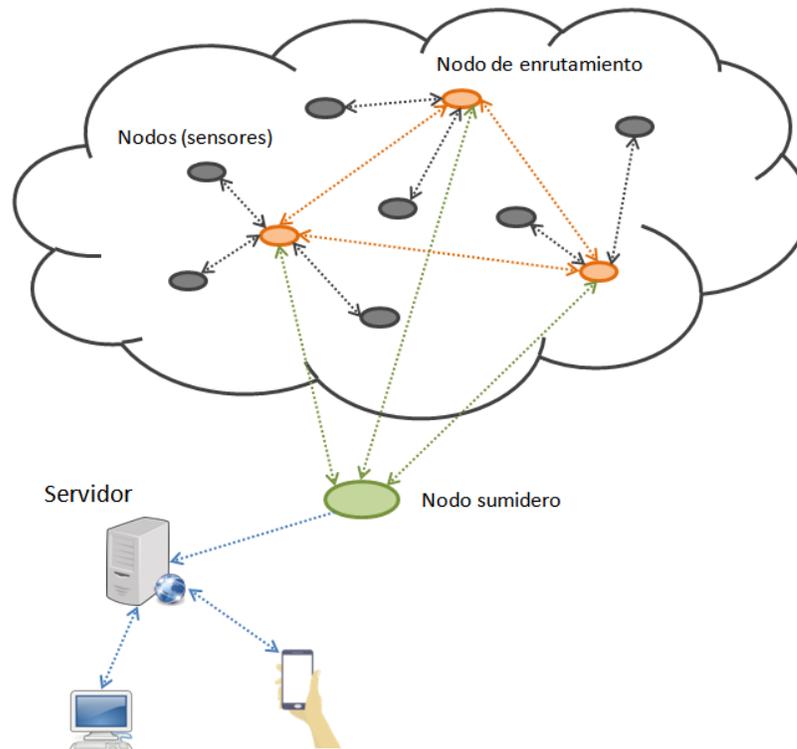


Figura 1.3.- Mapa de una WSN.

Este servicio emergente proporcionará la administración automática de los aparcamientos mediante un monitoreo preciso y haciendo que la información esté disponible para los clientes y los administradores de las instalaciones. Se espera que este campo brinde una solución eficiente y rentable para los problemas de estacionamiento.

1.2.- Objetivos

El objetivo principal del presente proyecto consiste en crear una herramienta de análisis SIG integrada por un software y un hardware específico que permita analizar la dinámica de aparcamiento de una zona concreta de la ciudad. Esta herramienta permitirá generar datos fiables y propios de cada ciudad que permitirán la toma de decisiones de manera fundamentada y eficiente para los gestores públicos.

En la parte de hardware se desarrollará una red de sensores piloto de aparcamiento, que se comunicarán a través de la red 6LoWPAN existente, colocados en una calle “tipo” de Gijón e integrados con un software que recogería, integraría y analizaría dichos datos en un plazo de tiempo reducido. De manera rápida y económica se conocería la dinámica real en cualquier zona de la ciudad deseada ya que el sistema propuesto es móvil y no implica grandes inversiones, una vez el prototipo haya sido validado y dimensionado para crear una herramienta funcional a nivel consultoría.

Los datos obtenidos permitirán al gestor de tráfico local tomar decisiones informadas y basadas en datos, a la vez que validar dichas acciones con análisis posteriores o incluso repetidos en el tiempo o en diferentes periodos del año, por ejemplo, para conocer las diferencias entre invierno y verano en una ciudad turística como Gijón.

1.3.- Alcance

En base a lo anteriormente mencionado, el presente proyecto se centrará en el desarrollo de una red de sensores inalámbricos orientada a la monitorización del aparcamiento en una calle de la ciudad, así como una herramienta específica para el procesamiento y análisis de estos datos. Para ello el trabajo se dividirá en varios hitos, que se detallan a continuación:

- Especificación:
 - Definición de requisitos funcionales y no funcionales, requisitos del sistema y especificación de la interfaz.
 - Análisis de la información obtenida en el punto anterior y validación de tecnologías propuestas.
 - Modelado del flujo de datos que permita documentar el resultado del análisis del sistema y ofrezca un esquema general de funcionamiento de la solución propuesta.

- Desarrollo de la solución hardware:
 - Selección y adquisición de componentes en base a la definición y validación de requisitos funcionales.
 - Instalación de sensores y validación del flujo de datos.
 - Pruebas iniciales en entorno controlado.
 - Generación de matriz de situaciones.
 - Pruebas en entorno real.

- Desarrollo de la herramienta software:
 - Diseño básico de la herramienta.
 - Desarrollo de módulos de funcionalidades específicas.
 - Pruebas de funcionamiento con datos reales.
 - Validación del resultado generado.

Una vez la herramienta esté completamente desarrollada se espera poder obtener el siguiente tipo de información:

- Dónde hay plazas disponibles.
- Cuántas plazas disponibles hay.
- Cuál es el tiempo medio que está una plaza disponible.
- Cuál es el tiempo medio que está una plaza ocupada.
- A qué hora del día hay mayor número de plazas disponibles.
- Qué día de la semana hay mayor número de plazas disponibles
- En qué zona de la ciudad hay más plazas disponibles.
- En qué mes/estación del año hay mayor número de plazas disponibles.
- Qué porcentaje de plazas al día nunca está libre.
- Qué porcentaje del total de la calle está ocupado realmente por los coches.
- Número medio de veces que una plaza cambia de ocupante.

2.- ESTUDIOS Y ANÁLISIS PREVIOS

Los métodos para la detección de vehículos son una parte crucial del sistema de gestión del tráfico, pero debido a la gran variedad de vehículos que hay en la actualidad, no existen métodos de detección completamente universales. Un problema en la detección de vehículos es la velocidad de movimiento de los mismos, que puede variar desde los 120 km/h en las autopistas, a una velocidad nula en el caso de vehículos estacionados en intersecciones y aparcamientos. Debido a esto, los métodos de detección utilizados para detectar vehículos en movimiento no son adecuados para detectar vehículos estacionados.

Los métodos utilizados para la detección de vehículos se pueden dividir en dos grupos: intrusivos y no intrusivos.

2.1.- Métodos intrusivos

En los métodos intrusivos los dispositivos se instalan directamente en la superficie del pavimento, en orificios de la carretera, mediante túneles debajo de la superficie o anclados directamente al pavimento. Este tipo de métodos tienen varios inconvenientes, entre ellos la interrupción del tráfico para la instalación y reparación, y los fallos asociados con las instalaciones en superficies de carreteras deficientes. La repavimentación de carreteras y la reparación de servicios públicos también pueden crear la necesidad de reinstalar este tipo de sensores.

Los sensores intrusivos incluyen tubos neumáticos de carretera, lazos inductivos, cables piezoeléctricos, magnetómetros, y otros sensores de pesaje en movimiento.

2.1.1.- Tubo neumático de carretera

Los tubos neumáticos de carretera envían una ráfaga de presión de aire a lo largo de un tubo de goma cuando los neumáticos de un vehículo pasan sobre este. El pulso de la presión del aire cierra un interruptor, produciendo una señal eléctrica que se transmite a un contador o software de análisis. El sensor neumático de tubo de carretera es portátil y utiliza baterías de plomo-ácido, gel u otras baterías recargables como fuente de alimentación.

El tubo de carretera se instala perpendicular a la dirección de movimiento de los vehículos y se usa comúnmente para el conteo de tráfico a corto plazo, la clasificación de vehículos por conteo de ejes y espaciado, la planificación y los estudios de investigación.



Figura 2.1.- Tubo neumático de carretera.

Ventajas

Las ventajas de los sensores de tubo de carretera son la rápida instalación para el registro permanente y temporal de datos y el bajo consumo de energía. Los sensores de tubos de carretera suelen ser de bajo coste y fáciles de mantener. Además, los fabricantes de sensores a menudo suministran paquetes de software para ayudar con el análisis de datos.

Desventajas

Las desventajas incluyen el conteo incorrecto de los ejes cuando los volúmenes de camiones y autobuses son altos, la sensibilidad a la temperatura del interruptor de aire, los tubos cortados como resultado del vandalismo y el desgaste producido por los neumáticos de los camiones.

2.1.2.- Lazos inductivos

El detector de lazo inductivo es el sensor más común utilizado en las aplicaciones de administración de tráfico. Su tamaño y forma varían. Un detector de lazo inductivo consiste en una o más vueltas de cable aislado enterrado en un corte de sierra poco profundo en la calzada, un cable de entrada que se extiende desde una caja de tracción en el lateral de la carretera hasta el gabinete del controlador, y una unidad electrónica ubicada en el gabinete del controlador.

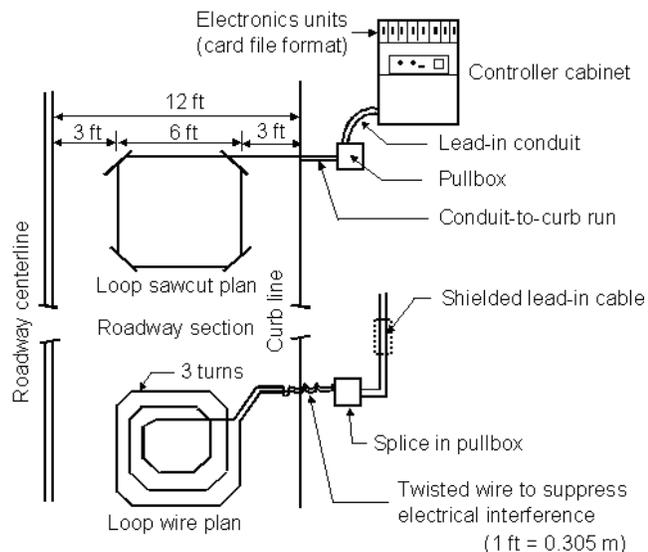


Figura 2.2.- Esquema del lazo inductivo.

El cable del lazo se excita con señales cuyas frecuencias varían de 10 KHz a 50 KHz y funciona como un elemento inductivo en conjunto con la unidad electrónica. Cuando un vehículo se detiene o pasa sobre el lazo, la inductancia disminuye. La inductancia reducida

aumenta la frecuencia de oscilación y hace que la unidad electrónica envíe un pulso al controlador, lo que indica la presencia o el paso de un vehículo.



Figura 2.3.- Lazo inductivo en la carretera.

Los datos suministrados por los detectores de lazo inductivo convencionales son el paso, la presencia, el conteo y la ocupación del vehículo. La clasificación del vehículo es compatible con las versiones más nuevas del lazo inductivo que contiene unidades electrónicas que excitan el bucle de alambre en las frecuencias más altas que identifican porciones de metal específicas en el vehículo.

Ventajas

El funcionamiento de los sensores de lazo inductivo es bien conocido y su aplicación para proporcionar parámetros básicos de tráfico (volumen, presencia, ocupación, velocidad, etc.) representa una tecnología madura. Al igual que en el caso del tubo neumático de carretera, el coste del equipo de los sensores de lazo inductivo es bajo en comparación con las tecnologías de sensores no intrusivos. Otra ventaja de los sensores de lazo inductivo es su capacidad para satisfacer una gran variedad de aplicaciones debido a su diseño flexible.

Desventajas

Los inconvenientes del uso de sensores de lazo inductivo incluyen la interrupción del tráfico para la instalación y reparación, y las fallas asociadas con las instalaciones en carreteras deficientes y el uso de procedimientos de instalación deficientes. En muchos casos, generalmente se requieren detectores múltiples para instrumentar una ubicación. Además, la repavimentación de carreteras y la reparación de servicios públicos también puede crear la necesidad de reinstalar este tipo de sensores. Además, los lazos de cables están sujetos a tensiones de tráfico y temperatura.

2.1.3.- Sensores magnéticos

Los sensores magnéticos se han estado utilizando desde hace más de 2,000 años. Las primeras aplicaciones fueron para encontrar la dirección durante la navegación. Hoy en día, los sensores magnéticos siguen siendo un medio principal de navegación, pero también han evolucionado en muchos otros usos. La tecnología para la detección de campos magnéticos también ha evolucionado debido a la necesidad de mejorar la sensibilidad, reducir el tamaño y la compatibilidad con los sistemas electrónicos.

Como se sabe, la Tierra tiene un campo magnético natural bastante fuerte cuya fuerza puede variar de 25 a 65 μT (0,25 - 0,65 Gauss). Es como un gran imán. A pesar de las anomalías magnéticas, el campo magnético terrestre es bastante continuo.

Un objeto ferroso colocado en el campo magnético de la tierra lo distorsiona. En algunos lugares alrededor del objeto el campo se vuelve más fuerte y en otros disminuye. Estas distorsiones del campo magnético se pueden detectar y medir fácilmente en la carretera.

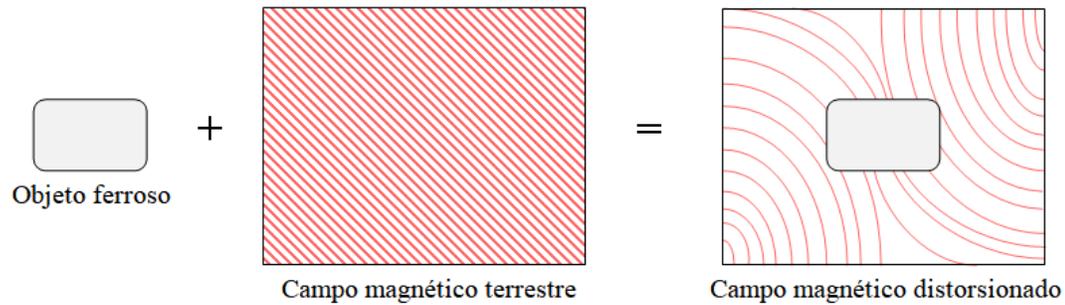


Figura 2.4.- Efecto de un objeto ferroso en el campo magnético terrestre.^[1]

La mayoría de las partes de un automóvil están hechas de metales (hierro, acero, níquel cobalto, etc.). Las partes metálicas del coche no se ubican uniformemente, en la zona del motor y los ejes de las ruedas la concentración de metal es mayor. Como resultado, el campo magnético terrestre a lo largo del automóvil es diferente. En el eje, el campo magnético es más fuerte, esto se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Las líneas muestran los cambios del campo magnético terrestre afectado por el automóvil.

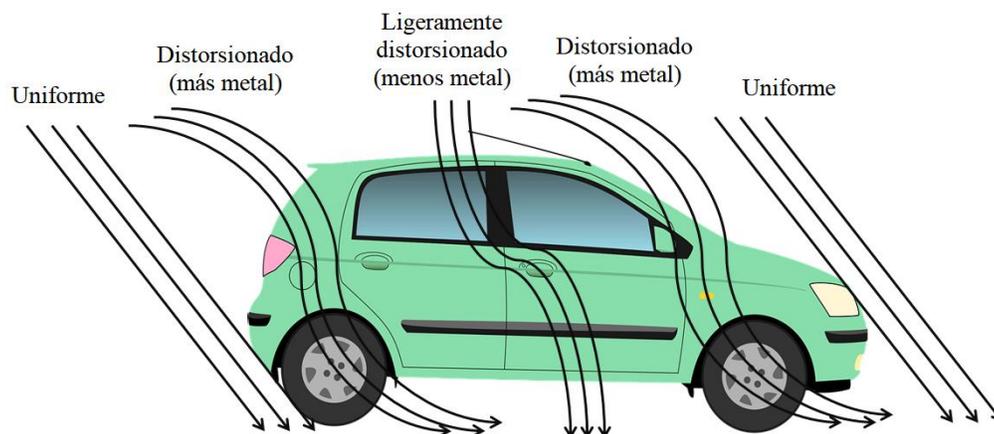


Figura 2.5.- Campo magnético terrestre a lo largo del vehículo.

Como puede verse, las líneas de campo están considerablemente deformadas, especialmente debajo del vehículo. Esto sugiere que un sensor producirá mejores resultados cuando se coloque bajo el vehículo, aunque la colocación del sensor delante del automóvil también produciría niveles de señal aceptables en una aplicación de aparcamiento. La **¡Error!**

No se encuentra el origen de la referencia. muestra una simulación del campo magnético a lo largo de un coche para un sensor colocado en el suelo.

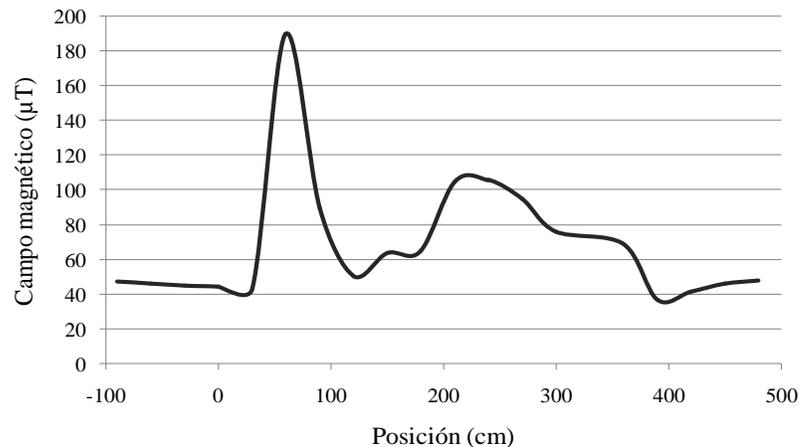


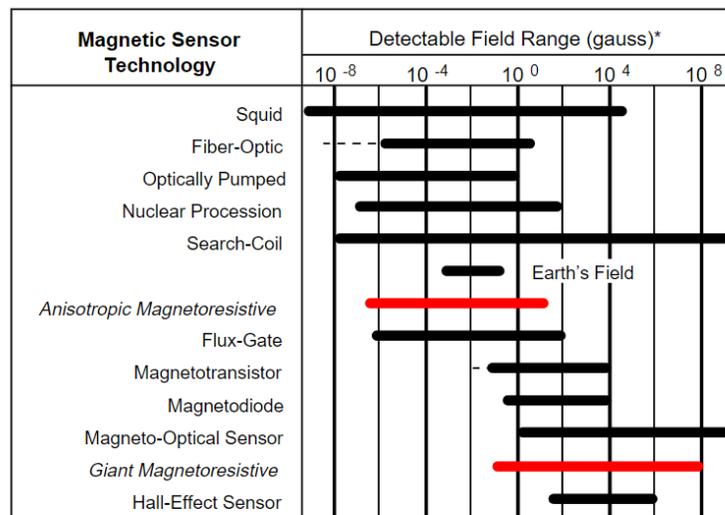
Figura 2.6.- Distribución del campo magnético a lo largo del eje de un vehículo.

El mayor nivel de señal se puede encontrar, como se esperaba, debajo del eje delantero y el motor, mostrando la posición óptima para un sensor en una aplicación de estacionamiento. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los vehículos pueden moverse hacia atrás en una plaza de aparcamiento y que no todos los automóviles estacionarán en el mismo sentido. La variación máxima del campo magnético simulado es de aproximadamente 190 μT . Incluso si el modelo no es preciso debido a las simplificaciones realizadas, al menos proporciona un orden de magnitud.

Por lo tanto una fuente importante de señal que se espera es la deformación de las líneas de campo por la concentración de flujo en los componentes ferromagnéticos del vehículo. Aunque la magnetización permanente también puede ser un factor importante, es imposible de predecir ya que puede cambiar fácilmente durante el ensamblaje y servicio de un vehículo. Por lo tanto, actualmente sólo se consideran los efectos de concentración de campo. Se puede esperar que la mayor parte de la señal provenga de componentes bastante masivos como el motor, la caja de cambios, el eje de transmisión, los ejes y las suspensiones de las ruedas.

Hay muchas maneras de medir el campo magnético terrestre. La mayoría de ellas se basan en la relación entre los campos magnéticos y eléctricos, aunque hay muchos otros factores, especialmente relacionados con la frecuencia, el tamaño y la velocidad. Los sensores magnéticos se clasifican de acuerdo con el rango del campo magnético medido. De esta manera, los sensores se dividen en tres grupos principales: campo magnético bajo, campo magnético medio y campo magnético alto.

Los sensores que se utilizan para medir campos menores de $1\mu\text{Ga}$ se clasifican como sensores de campo bajo. Los sensores que pueden medir desde $1\mu\text{Ga}$ a 10 Ga son los sensores de campo medio, también conocidos como sensores de campo magnético terrestre. Los sensores que pueden medir más de 10 Gauss se clasifican como sensores de campo magnético alto.



* Note: 1gauss = 10^{-4} Tesla = 10^5 gamma

Figura 2.7.- Rangos de medida de los sensores magnéticos.^[2]

El campo magnético está compuesto por un vector con una magnitud o intensidad de campo y una dirección. Los sensores magnéticos pueden medir el campo magnético de varias maneras. Hay sensores magnéticos que miden la intensidad total del campo magnético sin importar la dirección, también conocidos como sensores escalares. Otros miden la magnitud del componente de magnetización que se encuentra a lo largo de su eje sensible (sensores

omnidireccionales). Esta medida también puede incluir la dirección (sensores bidireccionales). Algunos sensores magnéticos tienen un umbral incorporado y producen una salida sólo cuando se pasa ese umbral. Otros sensores miden los componentes individuales del campo magnético relacionados con los ejes (X, Y, Z).

Un aspecto único del uso de sensores magnéticos es que la medición de los campos magnéticos no suele ser la intención principal. Generalmente, se desea otro parámetro, como la velocidad de una rueda, la presencia de tinta magnética, la detección de un vehículo o la determinación de rumbo. Estos parámetros no pueden medirse directamente, pero pueden extrapolarse de cambios o perturbaciones en campos magnéticos.

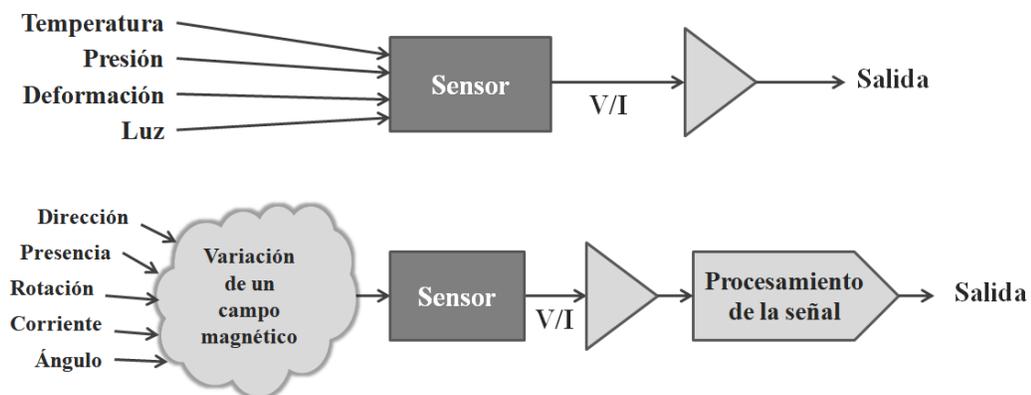


Figura 2.8.- Sensórica convencional frente a magnética.^[2]

La Figura 2.8 muestra otros factores, como la temperatura, la presión, la deformación o la luz que se pueden detectar utilizando un sensor apropiado. La salida de estos sensores reportará directamente el parámetro deseado. Por otro lado, el uso de sensores magnéticos para detectar la dirección, la presencia, la rotación, el ángulo o las corrientes eléctricas solo detectan indirectamente estos parámetros. Primero, la entrada promulgada tiene que crear, o modificar un campo magnético. Una corriente en un cable, un imán permanente o la detección del campo magnético de la Tierra puede crear este campo. Una vez que el sensor detecta ese campo, o variación, la señal de salida requiere un procesamiento de la señal para traducir la salida del sensor al valor del parámetro deseado. Esto hace que la detección magnética sea un poco más

difícil de implementar en la mayoría de las aplicaciones, pero también permite una detección fiable y precisa de parámetros que son difíciles de detectar de otra manera.

2.1.3.1.- Sensores de campo bajo ($< 1\mu\text{Ga}$)

Los sensores de campo bajo se utilizan para aplicaciones médicas y vigilancia militar. En general, tienden a ser voluminosos y costosos en comparación con otros sensores de campo magnético. Se debe tener cuidado con los efectos del campo terrestre, ya que las variaciones diarias en el mismo pueden exceder el rango de medición de un sensor de campo bajo.

2.1.3.1.1 SQUID (superconducting quantum interference devices)

El sensor de campo bajo más sensible es el dispositivo superconductor de interferencia cuántica (SQUID). Este tiene la capacidad de detectar campos en el rango de varias fempto-tesla ($1 \text{ fT} = 10^{-15} \text{ T}$) hasta 9 T , esto es un rango de más de 15 órdenes de magnitud. Se usa principalmente en la medicina, ya que el campo neuromagnético del cerebro humano es solo una décima parte de un fT, esto es 10^{-8} veces más débil que el campo magnético de la Tierra.

2.1.3.1.2 Magnetómetro de inducción (Search coil)

Otro sensor común de campo bajo es el magnetómetro de inducción básico basado en la ley de Faraday, que establece que el voltaje inducido en una bobina es proporcional al cambio de campo magnético en la bobina. Este voltaje inducido crea una corriente que es proporcional a la tasa de cambio del campo. La sensibilidad de la bobina depende de la permeabilidad del núcleo y del área y número de vueltas de la bobina. Para que funcione, la bobina debe estar en un campo magnético variable o moverse a través de un campo magnético. Esto restringe que este magnetómetro no detecte campos estáticos o que cambien lentamente. Estos sensores se encuentran comúnmente en las señales de control de tráfico de las carreteras. Son de bajo coste y fáciles de fabricar.

2.1.3.1.3 Otros sensores de campo bajo

Otras tecnologías de sensores de campo bajo incluyen precesión nuclear, bombeo óptico y magnetómetros de fibra óptica. Estos son instrumentos con un alto nivel de precisión, utilizados para investigación en laboratorios y aplicaciones médicas. Por ejemplo, la estabilidad a largo plazo del magnetómetro de precesión nuclear puede ser tan baja como 50 pT / año.

2.1.3.2.- Sensores de campo terrestre (1 μ Ga - 10 Ga)

El rango magnético para los sensores de campo medio se presta para medir el campo magnético de la Tierra. Algunas formas de utilizar el campo terrestre son determinar la orientación de la brújula para la navegación, detectar anomalías en él para la detección de vehículos y medir la derivada del cambio en el campo para determinar la velocidad de giro.

2.1.3.2.1 Fluxgate

Los magnetómetros de Fluxgate son los sensores más utilizados para los sistemas de navegación con brújula. Los sensores de Fluxgate también se han utilizado tanto para detectar submarinos como para la prospección geofísica y el mapeo de campos magnéticos en el aire. El tipo más común de magnetómetro de flujo se llama el segundo dispositivo armónico. Este dispositivo incluye dos bobinas, una primaria y una secundaria, envueltas alrededor de un núcleo común ferromagnético de alta capacidad. La inducción magnética de este núcleo cambia en presencia de un campo magnético externo. Se aplica una señal de activación al devanado primario a una frecuencia f (por ejemplo, 10 kHz) que hace que el núcleo oscile entre los puntos de saturación. El devanado secundario emite una señal que se acopla a través del núcleo desde el devanado primario. Esta señal se ve afectada por cualquier cambio en la permeabilidad del núcleo (pendiente de la curva B-H) y aparece como variación de amplitud en el sentido de salida de la bobina. Al utilizar un detector sensible a la fase, la señal de detección se puede desmodular y filtrar en paso bajo para recuperar el valor del campo magnético. Otra forma de ver el principio de funcionamiento de fluxgate es detectar la facilidad, o resistencia, de saturar el núcleo debido al cambio en su flujo magnético. La diferencia se debe al campo magnético externo.

2.1.3.2.2 Anisotropic Magnetoresistive (AMR)

El sensor magnetorresistivo anisotrópico (AMR) puede detectar campos estáticos de corriente continua, así como la fuerza y la dirección del campo. Este sensor está hecho de una película delgada de níquel-hierro (Permalloy) depositada sobre una oblea de silicio y está modelada como una tira resistiva. El Permalloy tienen una alta permeabilidad magnética lo que hace que cambie la resistencia en un 2-3% en presencia de un campo magnético. Por lo general, cuatro de estas resistencias están conectadas en una configuración de puente de Wheatstone para poder medir tanto la magnitud como la dirección de un campo a lo largo de un solo eje.

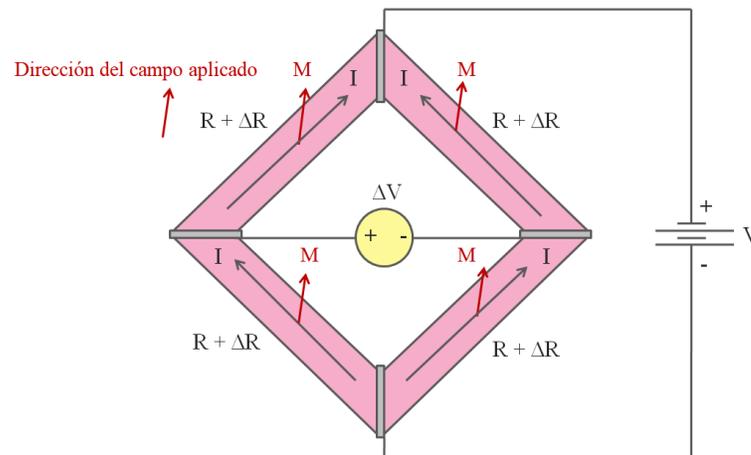


Figura 2.9.- Puente de Wheatstone para el AMR.^[1]

Para sensores AMR típicos, el ancho de banda está en el rango de 1-5 MHz. La reacción del efecto magnetorresistivo es muy rápida y no está limitada por bobinas o frecuencias oscilantes. El beneficio clave de los sensores AMR es que pueden fabricarse a granel en obleas de silicio y montarse en paquetes comerciales de circuitos integrados. Esto permite que los sensores AMR se armen automáticamente con otros componentes de circuitos y sistemas.

Los sensores magnetorresistivos utilizan el campo magnético de la Tierra como un campo de polarización para detectar la presencia de objetos ferromagnéticos. El método de detección completamente pasivo resultante no requiere la emisión de energía, lo que minimiza

el consumo de energía y el riesgo de interferencia electromagnética. Además, el tamaño compacto de los sensores magnetorresistivos permite opciones de ubicación versátiles.

2.2.- Métodos no intrusivos

Desde hace tiempo se ha puesto en marcha la búsqueda de un sistema alternativo, fiable y rentable para la detección de vehículos, que se pueda instalar y mantener con seguridad, y que suponga una interrupción mínima de la circulación. Así mismo debe ser capaz de proporcionar datos acerca del tráfico que sean al menos tan precisos como el detector de lazo inductivo. Investigaciones recientes han demostrado que los sensores de superficie modernos producen datos que cumplen estos requisitos en numerosas calles y carreteras. Estas tecnologías no intrusivas no requieren una instalación de sensores invasiva directamente en el pavimento, ya que se instalan en la parte superior o en un lateral de la carretera, donde pueden ver múltiples carriles de circulación desde ángulos perpendiculares u oblicuos a la dirección del tráfico.

Las tecnologías utilizadas actualmente en los sensores no intrusivos son el procesamiento de imágenes de video, radar de microondas, radar láser, infrarrojo pasivo, y combinaciones de tecnologías de sensores tales como infrarrojo pasivo y Doppler de microondas o infrarrojo pasivo y ultrasónico. Al igual que los sensores subsuperficiales, los sensores de superficie miden el número, la presencia y el paso de vehículos. Sin embargo, muchos también son capaces de medir la velocidad, la clasificación del vehículo y tienen una cobertura de detección de múltiples carriles.

2.2.1.- Procesador de imagen de video

Las cámaras de video se introdujeron en la gestión del tráfico para la vigilancia en carreteras debido a su capacidad para transmitir imágenes de televisión de circuito cerrado a un operador humano para su interpretación. Las aplicaciones actuales de gestión del tráfico utilizan el procesamiento de imágenes de video para analizar automáticamente la escena de interés y

extraer información para la vigilancia y control del tráfico. Un sistema de procesamiento de imágenes de video (VIP) generalmente consiste en una o más cámaras, una computadora con microprocesador para digitalizar y procesar las imágenes, y un software para interpretar las imágenes y convertirlas en datos de flujo de tráfico.

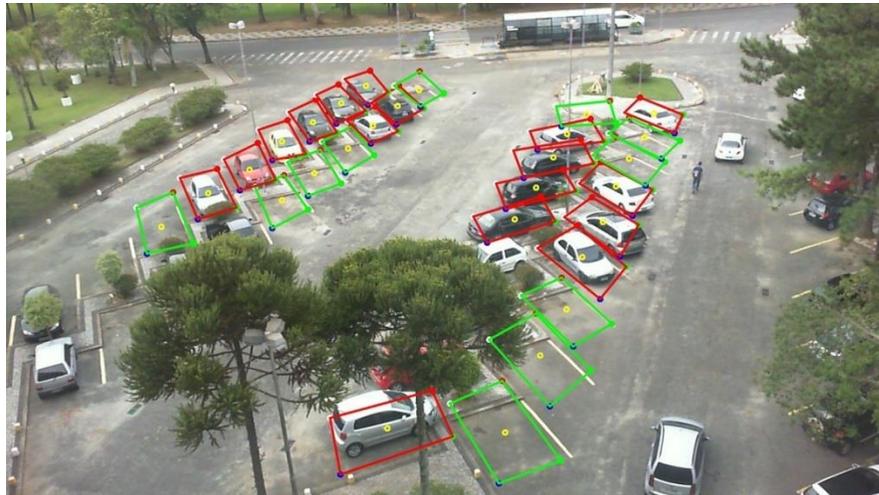


Figura 2.10.- VIP en un aparcamiento.^[3]

Los sistemas de procesamiento de imágenes de video detectan vehículos al analizar las imágenes de una escena de tráfico para determinar los cambios entre cuadros sucesivos. Los algoritmos de procesamiento de imágenes que analizan las imágenes en blanco y negro examinan la variación de los niveles de gris en grupos de píxeles contenidos en los cuadros de video. Los algoritmos están diseñados para eliminar las variaciones de nivel de gris en el fondo de la imagen causadas por las condiciones climáticas, las sombras y los artefactos diurnos o nocturnos y retener objetos identificados como automóviles, camiones, motocicletas y bicicletas. Los parámetros de flujo de tráfico se calculan analizando los cuadros de video sucesivos. Las imágenes en color también se pueden explotar para obtener datos de flujo de tráfico.

Ventajas

El procesamiento de la señal VIP está mejorando continuamente su capacidad para reconocer los artefactos producidos por las sombras, los cambios de iluminación, los reflejos, el clima inclemente y el movimiento de la cámara por el viento o la vibración inducida por el vehículo. Sin embargo, los artefactos persisten y el usuario debe evaluar el rendimiento del VIP en las condiciones anteriores y otras condiciones locales que puedan existir. Algunos modelos tienen dificultades para detectar vehículos en una carretera ligeramente cubierta de nieve con buena visibilidad, otros con el cambio de iluminación del día a la noche. Aunque los sistemas más modernos no presentan estos problemas.

Desventajas

Algunas desventajas del procesador de imágenes de video incluyen su vulnerabilidad a ver obstrucciones, inclemencias del tiempo, oscuridad, proyección de vehículos en carriles adyacentes, oclusión, transición de día a noche, contraste vehículo / carretera, agua, carámbanos y telarañas en la lente de la cámara que pueden afectar el rendimiento. Además, algunos modelos son susceptibles al movimiento de la cámara causado por vientos fuertes. La disposición del procesador de imágenes de video generalmente es rentable solo si se requieren muchas zonas de detección dentro del campo de visión de la cámara.

2.2.2.- Sensores infrarrojos

Los sensores de infrarrojos activos y pasivos se fabrican para aplicaciones de tráfico. Estos se instalan en la parte superior para ver el tráfico que se aproxima o se aleja, o también desde un punto de vista lateral. Los sensores infrarrojos se utilizan para medir la velocidad, el volumen o el tipo de vehículo, así como la detección de peatones en cruces peatonales. Se trata de un elemento sensible a la luz que convierte la energía reflejada o emitida en señales eléctricas, que son analizadas para determinar la presencia de un vehículo.

2.2.2.1.- Sensor de infrarrojos activo

Los sensores infrarrojos activos iluminan las zonas de detección con energía infrarroja de baja potencia suministrada por diodos láser que funcionan en la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético a $0,85 \mu\text{m}$. La energía infrarroja reflejada por los vehículos que viajan a través de la zona de detección se enfoca mediante un sistema óptico en un material sensible al infrarrojo montado en el plano focal de la óptica.

El sensor láser infrarrojo activo tiene dos conjuntos de ópticas. La óptica de transmisión divide la salida del diodo láser pulsado en dos haces separados por varios grados. La óptica de recepción tiene un campo de visión más amplio para que pueda recibir mejor la energía dispersada de los vehículos. Al transmitir dos o más haces, los radares láser miden la velocidad del vehículo registrando los tiempos en que el vehículo ingresa al área de detección de cada haz.

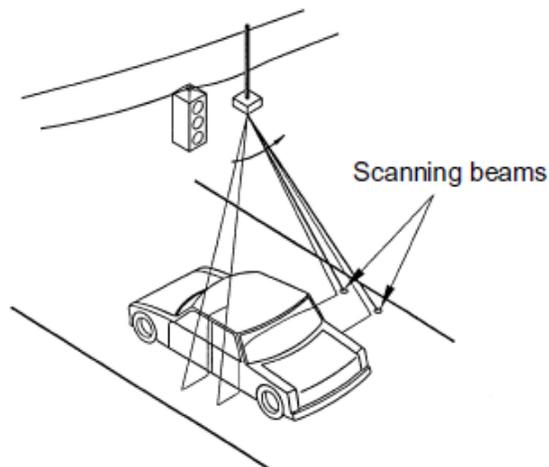


Figura 2.11.- Sensor infrarrojo activo.^[4]

2.2.2.2.- Sensores infrarrojos pasivos

Los sensores pasivos detectan la energía que se emite desde los vehículos, las superficies de las carreteras u otros objetos en su campo de visión, pero no transmiten energía propia. Los

sensores infrarrojos pasivos que se utilizan en las aplicaciones de gestión de tráfico contienen uno o varios elementos detectores sensibles a la energía en el plano focal que captan la energía del ambiente. El detector generalmente tiene un gran campo de visión instantáneo.

Ventajas

La instalación de sensores infrarrojos no requiere una instalación invasiva en el pavimento. Los sensores infrarrojos activos transmiten haces múltiples para una medición precisa de la posición, velocidad y clase del vehículo. Es posible detectar la presencia en múltiples carriles.

Desventajas

El brillo de la luz solar puede causar señales no deseadas y confusas. Las partículas atmosféricas y las inclemencias del tiempo pueden dispersar o absorber la energía que de otro modo alcanzaría el plano focal. Los efectos de dispersión y absorción son sensibles a las concentraciones de agua en la niebla, la bruma, la lluvia y la nieve, así como el humo y el polvo. Disminución del rendimiento con lluvia y nieve.

2.2.3.- Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos transmiten ondas de presión de energía de sonido a una frecuencia entre 25 y 50 kHz, que están por encima del rango audible humano. La mayoría de los sensores ultrasónicos operan con formas de onda de pulso y proporcionan información de conteo, presencia y ocupación del vehículo. Las ondas en forma de pulso miden la distancia a la superficie de la carretera y a la superficie del vehículo al detectar la porción de la energía transmitida que se refleja hacia el sensor desde un área definida por el ancho del haz del transmisor. Cuando se mide una distancia distinta a la superficie de la carretera de fondo, el sensor interpreta esa medida como la presencia de un vehículo. La energía ultrasónica recibida

se convierte en energía eléctrica que se analiza mediante dispositivos de procesamiento de señales que se colocan en un controlador a un lado de carretera.

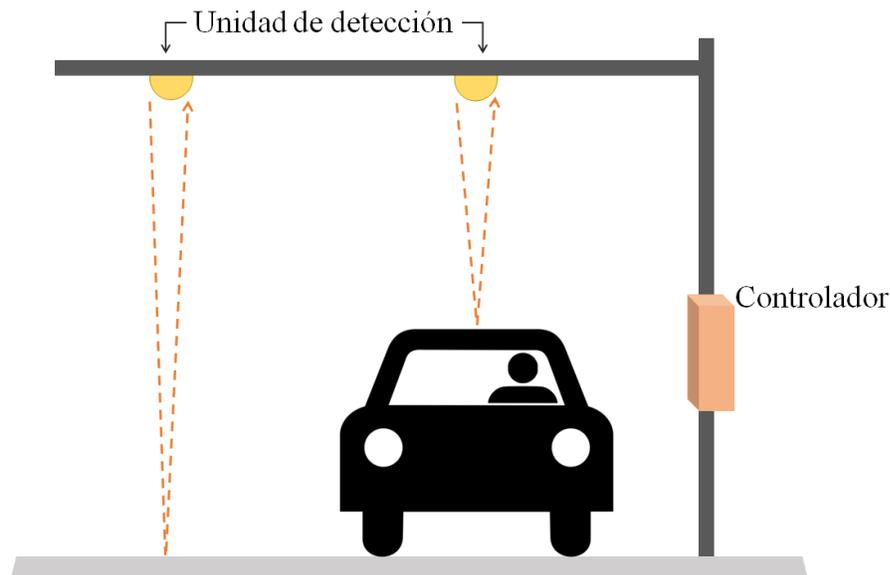


Figura 2.12.- Sensor ultrasónico.

Ventajas

La instalación de sensores ultrasónicos no requiere una instalación invasiva en el pavimento. Además, algunos modelos cuentan con operación en múltiples carriles.

Desventajas

El cambio de temperatura y la turbulencia extrema del aire pueden afectar el rendimiento de los sensores ultrasónicos, algunos modelos tienen compensación de temperatura incorporada. Los largos periodos de repetición de pulsos pueden empeorar la medición en las autopistas con vehículos que viajan a velocidades altas.

2.3.- Comparativa

A continuación, se muestra un cuadro resumen con las diferentes tecnologías para la detección de vehículos, así como una tabla comparativa.

| | Ventajas | Desventajas |
|------------------------|---|--|
| Tubo neumático | Instalación rápida. Bajo consumo de energía. Bajo coste y fáciles de mantener. | Sensibilidad a la temperatura. Tubos cortados como resultado del vandalismo y el desgaste. |
| Ultrasónico | Operación en múltiples carriles. | Sensible a las condiciones ambientales. Dificultad de medición en vehículos con velocidades altas. |
| Lazo inductivo | Diseño flexible. Tecnología madura. Parámetros básicos de tráfico. | Disminuye la vida del pavimento. La instalación y el mantenimiento requieren cierre de carril. |
| Magnetómetro | Puede ser utilizado donde los lazos no son factibles. Menos susceptible que los lazos a las tensiones del tráfico. | Disminuye la vida del pavimento. La instalación y el mantenimiento requieren cierre de carril. Algunos modelos tienen pequeñas zonas de detección. |
| Infrarrojo | Medición precisa de la posición, velocidad y clase del vehículo. Posible operar en múltiples carriles. | El sensor pasivo puede tener una sensibilidad reducida en condiciones de lluvia y niebla. |
| Imagen de video | Múltiples carriles. Fácil de añadir y modificar las zonas de detección. Gran variedad de datos disponibles. | Sensible a las condiciones meteorológicas. Generalmente es rentable solo si se requieren muchas zonas de detección dentro del campo de visión de la cámara. |

Tabla 2.1.- Resumen tecnologías de detección de vehículos.

| | Conteo | Presencia | Velocidad | Clasificación | Coste |
|------------------------|---------------|------------------|------------------|----------------------|------------------------------|
| Tubo neumático | X | | X | X | Bajo |
| Ultrasónico | X | X | | X | Bajo |
| Lazo inductivo | X | X | X | X | Bajo |
| Magnetómetro | X | X | X | | Moderado |
| Infrarrojo | X | X | X | X | Pasivo: Bajo Activo: Alto |
| Imagen de video | X | X | X | X | Alto |

Tabla 2.2.- Comparativa de tecnologías.

Finalmente, teniendo en consideración todas las tecnologías disponibles, así como sus principales ventajas y desventajas, el coste y las posibles aplicaciones, se toma la decisión de que la opción más idónea para este proyecto es el desarrollo de un sensor magnético. Su bajo coste, la alta sensibilidad, el tamaño pequeño, la inmunidad al ruido y la fiabilidad son ventajas importantes frente al resto de alternativas. Este tipo sensores resuelven una gran variedad de problemas en aplicaciones personalizadas debido a su alta adaptabilidad y facilidad de ensamblaje.

3.- METODOLOGÍA DE TRABAJO

Este capítulo de la memoria se centra en las herramientas y los métodos utilizados para abordar las distintas fases del proyecto. En primer lugar, se describen las herramientas de software y hardware empleadas para llevar a cabo el desarrollo tanto del prototipo, como de la herramienta de análisis de datos; y a continuación, se detallan los métodos (modelos matemáticos, algoritmos, ecuaciones, etc.) utilizados a la hora de resolver los distintos problemas que se han planteado durante el desarrollo del proyecto.

3.1.- Herramientas de software

A continuación, se exponen las herramientas de software empleadas durante el desarrollo del proyecto: se ha utilizado la aplicación de Arduino como entorno de programación y Node-RED como herramienta de visualización. Por otro lado, el software de Autodesk Inventor Professional se ha utilizado para el diseño de los modelos CAD del prototipo.

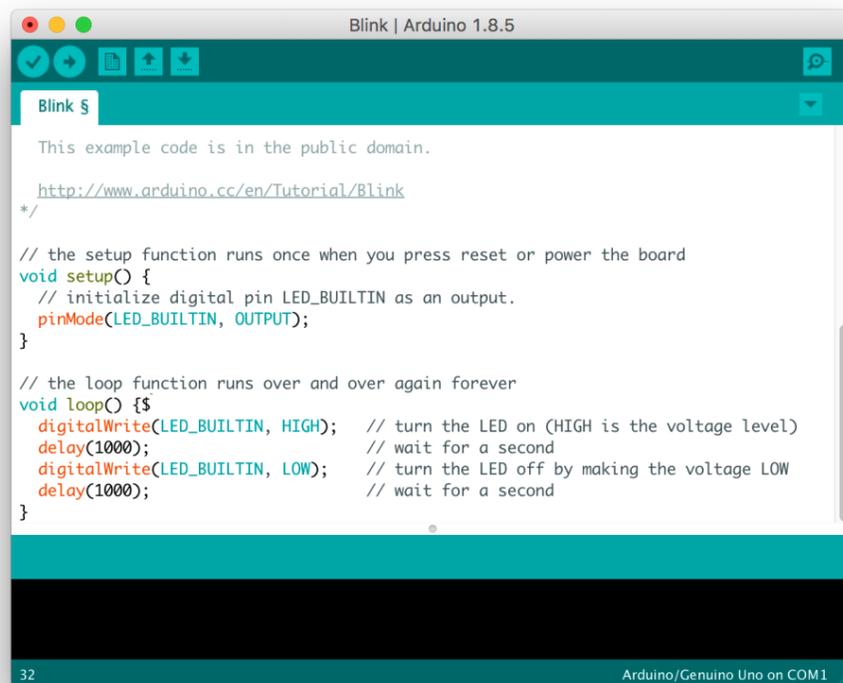
3.1.1.- Arduino IDE

El entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino es una aplicación multiplataforma (para Windows, macOS, Linux) que está escrita en el lenguaje de programación Java. Se utiliza para escribir y cargar programas en tableros compatibles con Arduino, pero también tableros de desarrollo de otros proveedores, con la ayuda de núcleos de terceros.

El código fuente para el IDE se publica bajo la Licencia Pública General de GNU, que es una licencia de derecho de autor ampliamente usada en el mundo del software libre y código abierto. Ésta garantiza a los usuarios finales, ya sean personas, organizaciones o compañías, la libertad de usar, compartir, copiar y modificar el software. Su propósito es doble: declarar que el software cubierto por esta licencia es libre, y protegerlo (mediante una práctica conocida

como copyleft) de intentos de apropiación que restrinjan esas libertades a nuevos usuarios cada vez que la obra es distribuida, modificada o ampliada.

El IDE de Arduino es compatible con los lenguajes C y C++ utilizando reglas especiales de estructuración de código. El código escrito por el usuario solo requiere dos funciones básicas, para iniciar el sketch y el bucle principal del programa, que se compilan y vinculan con un apéndice de programa `main()` en un programa cíclico ejecutable con la cadena de herramientas GNU, que también se incluye con la distribución IDE. El IDE de Arduino emplea el programa `avrduude` para convertir el código ejecutable en un archivo de texto en codificación hexadecimal que se carga en la placa Arduino mediante un programa de carga en el firmware de la placa.

A screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is 'Blink | Arduino 1.8.5'. The main text area contains the following code:

```
This example code is in the public domain.

http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
*/

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {$
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
```

The status bar at the bottom shows '32' on the left and 'Arduino/Genuino Uno on COM1' on the right.

Figura 3.1.- Software IDE de Arduino.

3.1.2.- Node-RED

Node-RED es una herramienta de programación visual. Muestra visualmente las relaciones y funciones entre los distintos elementos, y permite al usuario programar sin tener que escribir en un lenguaje. Se trata de un editor de flujo basado en el navegador donde se pueden añadir o eliminar nodos y conectarlos entre sí con el fin de hacer que se comuniquen entre ellos. Originalmente fue desarrollada por IBM para conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea como parte del Internet de las cosas (IoT).

En Node-RED la estructura mínima son los nodos. Hay de dos tipos: nodos de inyección o nodos de función. Los nodos de inyección producen un mensaje sin necesidad de entrada y lanzan el mensaje al siguiente nodo conectado a éste. Los nodos de función, por el contrario, tienen una entrada y realizan algún trabajo sobre ella. Los nodos se arrastran a través de la interfaz gráfica y permiten hacer una tarea concreta. Recibir una llamada HTTP, un mensaje MQTT o la activación de un pulsador. Todos estos nodos se organizan en flujos o flows que agrupan nodos que se conectan entre ellos. Todo de una forma visual, sin apenas tener que programar.

Node-RED está creado a partir de NodeJS y la librería de JavaScript D3.js. NodeJS es un software muy potente que permite la programación en JavaScript del lado del servidor. Su ventaja más importante es que está optimizado para poder tratar múltiples conexiones concurrentes de una manera óptima.

Por otro lado, D3.js es el encargado de la interfaz web. Node-RED es accesible a través de un navegador, es decir, sólo necesitamos acceder a una página web para poder crear los sistemas que se deseen. No hace falta instalar ningún entorno de desarrollo o IDE. En esta aplicación web se pueden arrastrar y conectar nodos con diferentes funcionalidades para crear flujos de datos que hagan una determinada cosa. Por ejemplo, es posible suscribirse a un topic de MQTT, recibir un dato de temperatura, almacenarlo en una base de datos y mostrarlo

en un panel de control a través de una página web. Se puede **instalar** en cualquier sistema operativo incluyendo Raspbian para **Raspberry Pi**.

Es por esto que el punto fuerte de Node-RED es la sencillez. Permite utilizar tecnologías complejas sin tener que profundizar hasta el más mínimo detalle en todas ellas. Permite al usuario quedarse en una capa inicial donde se centra en lo importante y deja de lado aquello que no es práctico.

3.1.3.- Autodesk Inventor Professional

Autodesk Inventor Professional es un software de CAD 3D que ofrece un conjunto completo y flexible de herramientas fáciles de usar para el diseño mecánico, documentación, simulación de productos en 3D, mecanizado y visualización.

Es posible integrar dibujos 2D de AutoCAD y datos 3D en un modelo digital único, para crear una representación virtual del producto final con la que validar la forma, el ajuste y la función del producto antes de fabricarlo. También proporciona una funcionalidad avanzada para el análisis de elementos finitos, simulación de movimiento, gestión de datos, sistemas enrutados y diseño de moldes.

3.2.- Herramientas de Hardware

A continuación, se detallan los distintos elementos de hardware utilizados durante el proyecto para llevar a cabo el desarrollo del prototipo de sensor magnético. Dichos elementos son una placa de Arduino, un magnetómetro de 3 ejes y una impresora 3D para la fabricación de la carcasa.

3.2.1.- HMC5883L

EL HMC5883L es un sensor magnetómetro de 3 ejes, se encuentra integrado en módulos como la GY-273 que incorporan la electrónica necesaria para conectarla de forma sencilla a un Arduino, de forma que sea posible detectar y leer el campo magnético terrestre y así calcular la orientación con respecto al norte magnético de la tierra, siempre que el sensor en cuestión no esté expuesto a algún campo magnético externo o cerca de algún objeto metálico que pueda perturbar el campo magnético terrestre.

Este pequeño módulo HMC5883L incorpora tres sensores magnetorresistivos, cancelación de desfases, y conversores de 12 bits, lo que le proporciona una precisión de $\pm 2^\circ\text{C}$, trabaja con una tensión de 1.8 a 3.3V, pero algunos tienen un regulador interno por lo que se puede alimentar con 5V o con 3.3V en sus pines respectivos. Este módulo de Honeywell HMC5883L, se comunica a través del bus I2C, cuya dirección fija es 0x1E, por lo que es sencillo obtener los datos medidos.

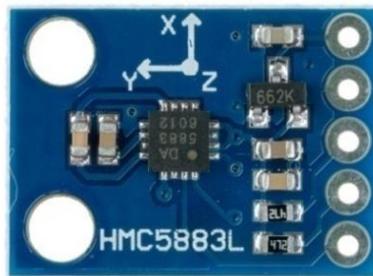


Figura 3.2.- Magnetómetro HMC5883L.

3.2.2.- Placa Arduino Uno

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reset. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador.



Figura 3.3.- Placa Arduino Uno

3.2.3.- Impresora 3D

Para el desarrollo del soporte físico del sensor se utilizará una impresora 3D de la marca BQ. Este tipo de impresora realiza piezas fundiendo filamentos de polímero PLA (polímero biodegradable) en forma de hilo. El filamento se introduce en la impresora y el extrusor es el encargado de depositarlo en la base de impresión, fundiéndose capa a capa hasta crear la pieza final. La resolución de esta impresora 3D va desde las 60 a las 300 micras.

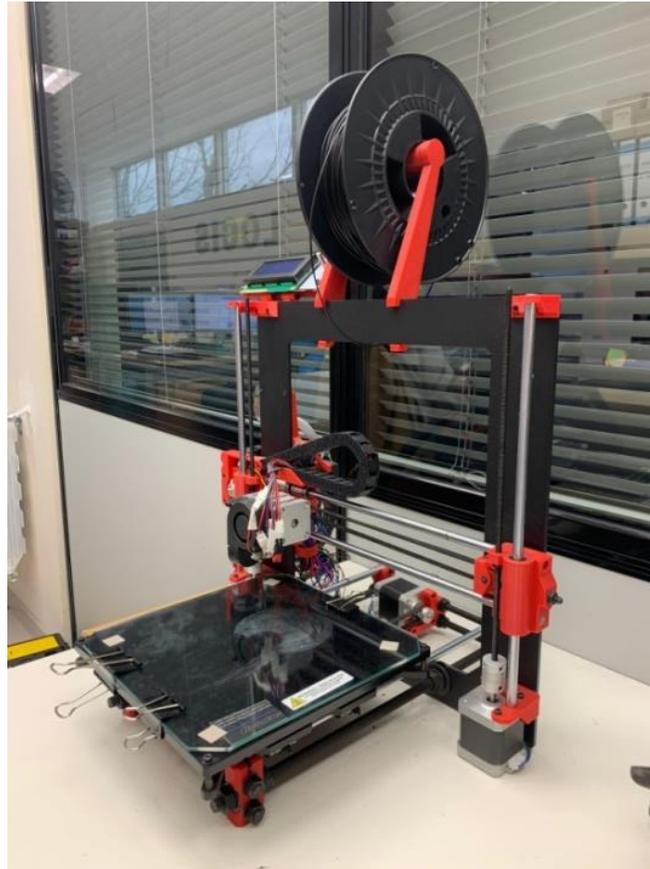


Figura 3.4.- Impresora 3D.

3.3.- Organización del trabajo

El desarrollo del proyecto se divide en distintas etapas para conseguir los objetivos planteados. En cada una de estas fases se detallan las estrategias utilizadas para resolver los distintos retos que surgen. A continuación, se exponen las distintas etapas del proyecto:

- Estado del arte: estudio de las distintas metodologías que existen en la actualidad orientadas a la detección de vehículos. Estas han sido descritas en el capítulo 2 del presente documento.

-
- Requisitos funcionales del sensor: especificación de las funcionalidades necesarias para el proyecto.
 - Selección del sensor: elección del método de detección que se va a desarrollar a lo largo del proyecto.
 - Requisitos de la herramienta de procesamiento: estudio de los aspectos básicos de la herramienta de procesamiento de datos.
 - Estudio de alternativas de instalación: se decide la manera en la que el sensor va a instalarse en la carretera.
 - Desarrollo del prototipo: se elabora un prototipo con el sensor seleccionado en la fase anterior.
 - Fase de pruebas: se llevarán a cabo diversas pruebas con el prototipo con el fin de poder detectar tanto la presencia de vehículos como la ausencia de ellos.
 - Desarrollo de algoritmos: análisis de los resultados obtenidos en la fase de pruebas y elaboración de algoritmos capaces de automatizar la detección del vehículo en función de los datos proporcionados por el sensor.
 - Estudio de comunicación inalámbrica: análisis de las diversas formas de comunicación inalámbrica entre sensores y cómo integrarlos en la red 6LoWPAN.
 - Desarrollo de la herramienta SIG: desarrollo de una herramienta de análisis SIG (sistema de información geográfica) que permite la organización, almacenamiento, y análisis de grandes cantidades de datos que están vinculados a una referencia espacial.
 - Herramienta de visualización: elección de la herramienta de visualización de datos en la nube.

3.3.1.- Requisitos funcionales

Se espera que los sensores cumplan los siguientes requisitos de funcionamiento:

- Capacidad de discernir entre coches, motos, contenedores y demás elementos que puedan estar situados dentro de su campo de medida. Para ello se colocará más de un sensor por plaza con el fin de que se pueda calcular aproximadamente el tamaño del hueco disponible.
- Medida en tiempo real. Se espera que mediante una aplicación software se pueda observar la evolución de las plazas disponibles en tiempo real, es decir el número de huecos que hay disponibles a lo largo del día, el tiempo medio que dichos huecos están disponibles, los tiempos medios de ocupación de las plazas, etc.
- Capacidad de transmitir dichos datos haciendo uso de la red 6LoWPAN ya instalada en la ciudad de Gijón, y que a la vez sirva para otras WSN de baja potencia.

Por otra parte, se espera que los sensores cumplan con los siguientes requisitos físicos:

- Capacidad para soportar las condiciones meteorológicas, como pueden ser lluvia, viento o granizo, que puedan tener lugar en la ciudad de Gijón.
- Capacidad suficiente para soportar el peso de un coche o cualquier otro vehículo que en un momento dado se sitúe sobre el sensor, ya sea maniobrando sobre él o con la rueda aparcada encima.
- Capacidad para soportar los actos de vandalismo que se produzcan sobre el sensor. Por ello, lo ideal, sería que contaran con un diseño discreto que no llame la atención, para que pasen lo más desapercibidos posible.

3.3.2.- Diseño de los sensores

En este caso la palabra sensor hace referencia a todo el conjunto, no sólo al sensor magnético en sí, sino también a los complementos que lo hacen funcionar como son el microprocesador, las baterías, etc. Por lo que un sensor constará de las siguientes partes:

- Magnetómetro: es el sensor magnético en sí, que mide las componentes del campo en 3 ejes.
- MCU: es el microcontrolador que interpretará y enviará los datos registrados por el magnetómetro.
- Módulo inalámbrico de conexión: como puede ser un Xbee que proporciona el medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos mediante el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 o bien algún otro módulo de radiofrecuencia.
- Baterías: serán la fuente de alimentación de todo el conjunto.

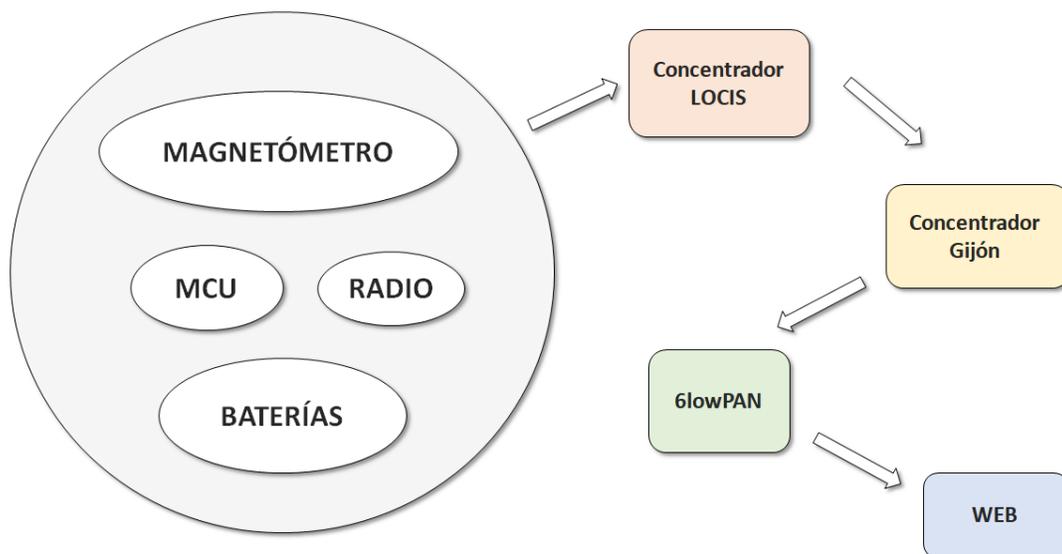


Figura 3.5.- Esquema de funcionamiento de los sensores.

Una opción a tener en cuenta sería el uso de algún sensor adicional como puede ser un sensor óptico que añada un complemento visual a la detección mediante la percepción de luz natural, es decir, si se detecta una sombra sobre el sensor se procede a medir el campo magnético, o viceversa, en caso de que el magnetómetro detecte algo se podría activar el sensor óptico para confirmar la detección.

Tras valorar esta opción se decide que no es viable ya que existe un inconveniente, y es que en una ciudad como Gijón y en una calle situada entre edificios es probable que el sensor reciba sombra la mayor parte del tiempo, y durante la noche sería totalmente inútil.

3.3.3.- Requisitos de la herramienta de procesamiento

Una vez instalada la red de sensores se pretende recibir en tiempo real, a través de un concentrador propio instalado en la zona, los datos que los dispositivos están recogiendo para poder llevar a cabo un estudio de los mismos y que resulte más simple y práctica su aplicación.

La idea principal es poder distinguir en qué lugar y momento hay disponible una plaza de aparcamiento, así como conocer algunos datos relevantes, como pueden ser el tiempo medio que una plaza está disponible, el porcentaje de ocupación de aparcamientos en función de la hora o de la temporada, las calles con más huecos disponibles, etc. Finalmente se elaborará un informe que englobe todos estos datos.

Se plantean 2 opciones de recogida de datos:

Opción 1. Recogida de valores binarios

En este caso los propios sensores se programarían para dar un valor binario SI/NO en función de si están detectando un hueco o no, y de esta manera no hace falta un post-procesado de los datos.

Opción 2. Paso intermedio mediante gráfica interactiva

En este caso se plantea la posibilidad de obtener una gráfica con los valores del campo magnético en tiempo real de modo que visualmente se puede ver un hueco de aparcamiento mediante caídas en dicha gráfica, o picos que se corresponderían con vehículos estacionados. La idea es establecer una barrera o umbral que filtre los datos, de manera que todas las variaciones menores de un determinado valor se correspondan con huecos libres. Para esto se registrará en un primer momento la medida que obtienen los sensores en ausencia de coches, para fijar este valor como el “0” de cada sensor y poder sustraerlo luego a las mediciones obtenidas. El valor de referencia se podrá mover para ajustar la precisión de la detección.

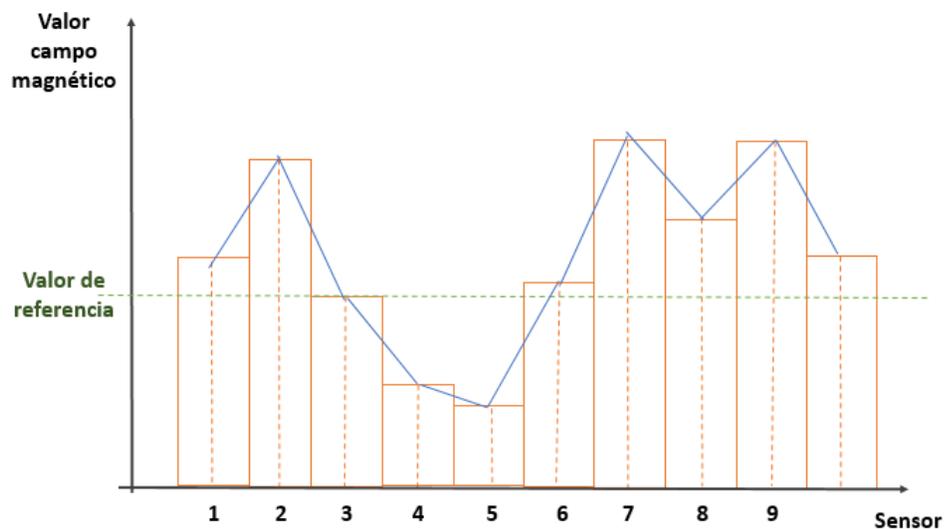


Figura 3.6.- Gráfica de visualización.

En un primer momento se optará por la segunda opción, ya que es preferible obtener los datos en bruto y filtrarlos una vez recibidos en función de las necesidades específicas, que recibir un valor binario que implica mucha pérdida de información y posibles errores.

La Figura 3.6.- Gráfica de visualización. muestra una idea aproximada, no definitiva, de cómo puede funcionar la herramienta, más adelante se verá que el umbral para el criterio de detección finalmente se obtiene de una manera distinta, aunque el concepto es similar.

4.- TRABAJO REALIZADO Y RESULTADOS OBTENIDOS

Este capítulo de la memoria se centra en el trabajo realizado mediante la aplicación de los métodos y las herramientas descritos en el apartado anterior para cada fase del proyecto y los resultados obtenidos en cada una de las siguientes etapas:

- Estudio de alternativas de instalación
- Desarrollo del prototipo
- Fase de pruebas
- Desarrollo de algoritmos
- Estudio de comunicación inalámbrica
- Desarrollo de la herramienta SIG
- Herramienta de visualización

4.1.- Estudio de la instalación

El primer aspecto a tener en cuenta para realizar el estudio de las alternativas de instalación es si los sensores van a ir colocados a lo largo del eje central de los vehículos o alineados junto al bordillo.

Las posibles ventajas de colocar los sensores junto al bordillo pueden ser:

- Mayor discreción: llamarían menos la atención ante posibles actos de vandalismo.
- Posibilidad de acceder a los sensores incluso cuando haya coches aparcados, suponiendo que haya un espacio suficiente entre el borde de la acera y la rueda del coche.
- Menor sensibilidad antes los vehículos que circulen por la carretera.

De igual manera cuenta con una serie de desventajas:

- En el caso de que los coches aparquen muy cercanos al bordillo, los sensores tendrían que soportar el peso constante de las ruedas que puedan situarse encima de ellos. Por el contrario, con los sensores situados en el eje medio del coche hay menos probabilidades de que las ruedas queden encima de algún sensor durante un tiempo prolongado.
- Menor precisión en las mediciones, puesto que se desaprovecharía todo un eje de medida al no tener los coches encima, sino siempre situados en un lateral.

Teniendo en consideración estos aspectos finalmente se decide que los sensores irán colocados a lo largo del eje central de la zona de aparcamiento. A continuación se valorará las siguientes opciones de instalación:

- Enterrados individualmente.
- En la superficie de la carretera a lo largo de una tira continua.
- Anclados individualmente a la superficie.

4.1.1.- Enterrados individualmente

Ventajas

- Mediante esta opción los sensores estarían enterrados en el suelo de manera que quedarían protegidos antes casos de vandalismo o erosión debida a los coches.
- Otra ventaja es la posibilidad de retirar o modificar fácilmente el sensor con una instalación adecuada, por ejemplo, introducir en el suelo una carcasa con una tapa desmontable, como si fuera una caja, de forma que con tan solo abrirla se puede introducir o extraer el sensor.



Figura 4.1.- Sensores enterrados.

- También puede ser el conjunto carcasa y sensor un todo-en-uno que se introduce en el asfalto.



Figura 4.2.- Sensor conjunto enterrado.

- Otra opción es enterrarlos y asfaltar encima, o cubrirlos con una resina de manera que no se puedan extraer fácilmente. Aunque, en este caso, surge el problema de recuperación de las baterías una vez se terminan.



Figura 4.3.- Sensor para asfaltar encima.

Desventajas

- La principal desventaja es la posible necesidad de obra civil al tener que realizar agujeros en el asfalto, lo cual eleva también el coste, así como la pérdida del sensor en el caso de que se asfalte encima.

Debido a este motivo esta opción queda totalmente descartada, pues no interesa tener que pedir permiso para obra civil habiendo otras opciones que la eviten.

4.1.2.- Colocados en una tira

Ventajas

- La principal ventaja de colocarlos en una tira es que resulta fácil su instalación y la retirada de los sensores una vez finalizado el proyecto, pues solo habría que anclar la tira al suelo y después retirarla.
- Otra ventaja es que resulta más fácil identificar los sensores, puesto que irán colocados de antemano dentro de la tira. Identificando la posición relativa de cada uno de ellos dentro de ésta y tomando como referencia el punto inicial donde se sitúa

la tira respecto de la calzada se puede tener una localización precisa de cada sensor sin necesidad de llevar a cabo la geolocalización posterior de cada uno.

- Una opción sería abrir una especie de zanja estrecha con una cubierta, de manera que con sólo abrirla puedan introducirse dentro tantos sensores como se quiera, de este modo resulta fácil la modificación del número de ellos en función de las necesidades. El problema es que se necesitaría hacer un hueco en el asfalto, lo que de nuevo supone obra civil y un coste más elevado, por lo que al igual que en el caso anterior esta opción también se descarta.



Figura 4.4.- Zanja en el suelo.

- Otra opción sería utilizar una cubierta para la tira que se pueda poner sobre el suelo, por ejemplo, algo parecido a un badén pasacables. La principal ventaja es que sólo se necesitan poner debajo los sensores, instalar el badén en la zona media de las plazas de aparcamiento y retirarlo cuando sea necesario. La principal preocupación sería proteger los sensores del peso de los coches. Aunque teniendo en cuenta que el badén quedaría en medio del coche solamente tendría el peso de alguna rueda encima durante el momento de aparcar, por lo que con alguna carcasa, aunque que

no sea muy resistente, podría aguantar perfectamente el peso. Esta opción sería bastante económica.



Figura 4.5.- Badén pasacables.

- La última opción sería meterlos en una especie de tubo de silicona de manera que el anclaje consista simplemente en unir el tubo al suelo. El problema es que la colocación de los sensores a lo largo del tubo resulta complicada, a no ser que se abran agujeros para introducir los sensores dentro, lo cual hace que pierda sentido el uso del tubo. Además, los sensores seguirían necesitando una carcasa de protección pues el tubo sería demasiado blando y podrían dañarse con el peso del coche.

Desventajas

- La principal desventaja es que una tira resulta bastante llamativa por lo que llamaría más la atención ante posibles actos vandálicos frente a las otras opciones y estaría más desprotegida.
- Otra posible desventaja es que habría que buscar un método de protección frente a robos, sino cualquiera podría abrir o levantar la tira y llevarse un sensor.

4.1.3.- Anclados individualmente a la superficie

Ventajas

- La principal ventaja es que no se necesita hacer ningún agujero en el suelo, pudiendo atornillarse o pegarse la carcasa. De esta manera resulta fácil tanto su instalación como su reemplazo y posterior retirada. Puede utilizarse un recubrimiento parecido a los que se usan para las luces de advertencia de los pasos de cebra. En el caso de que el sensor esté centrado en el eje medio del coche es difícil que tengan que soportar el peso de una rueda durante un largo periodo de tiempo, más allá que el que duran las maniobras de aparcamiento.



Figura 4.6.- Luz paso de peatones.

- Otra ventaja de esta opción es su flexibilidad de colocación, ya que los sensores no tendrían que estar separados todos una distancia fija entre sí, por ejemplo si se tuviera una entrada a un garaje, podría dejarse una separación mayor entre los sensores, cosa que en el caso de la tira no es posible, pues la propia tira quedaría en medio atravesando el hueco.
- Este tipo de colocación también resulta más discreta que la tira de sensores, aunque menos que enterrados, y es el más económico.



Figura 4.7.- Sensor anclado a superficie.

Desventajas

- La principal desventaja es el riesgo de vandalismo. Aunque resulta quizás más discreto que una tira, ante el empeño de una persona por destrozar el sensor es probable que consiga su propósito.
- Otro riesgo a considerar, aunque debería poder evitarse con el propio diseño de la carcasa, es el efecto que pueda tener una rueda que gire justo sobre el sensor en un momento determinado durante las maniobras de aparcamiento, pudiendo producir un efecto cizalla y romper por completo la cubierta.
- En caso de necesitar acceder al sensor habría que retirar la totalidad del conjunto, a no ser que se disponga de una base y una cubierta, y en ese caso sólo sería necesario retirar la cubierta, ya que la base sería la parte que estaría anclada al suelo.

Valorando todos los aspectos mencionados finalmente se toma la decisión de colocar individualmente los sensores sobre la superficie de la carretera, por lo que el diseño del prototipo del sensor deberá contar con una carcasa que sirva de protección física frente a esfuerzos y condiciones meteorológicas.

4.2.- Prototipo de sensor

A continuación, se detalla el procedimiento que se llevó a cabo para realizar el prototipo de sensor funcional, que más adelante pueda ser utilizado para realizar la fase de las pruebas.

4.2.1.- Conexiones

Para desarrollar el prototipo de sensor se utilizará la placa Arduino Uno y el magnetómetro de 3 ejes HMC5883L. El esquema de conexión es el siguiente:

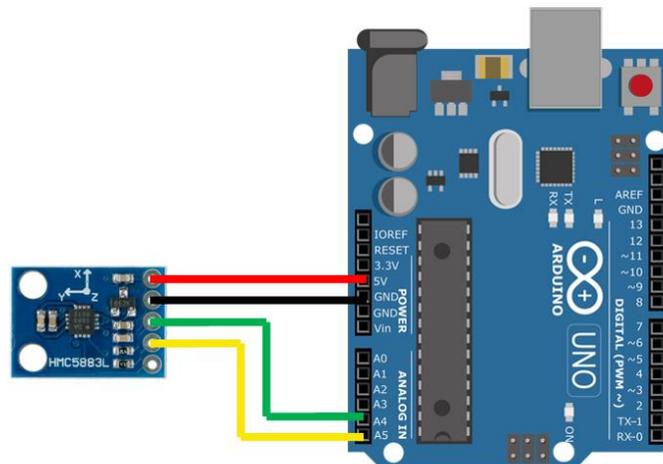


Figura 4.8.- Esquema de conexión del sensor.

La conexión de pines es la siguiente:

| Magnetómetro | Arduino |
|-----------------|---------|
| V _{CC} | 5V |
| GND | GND |
| SCL | A5 |
| SDA | A4 |

Tabla 4.1.- Tabla de conexiones

El ordenador será la fuente de alimentación del Arduino, y éste a su vez, alimentará al sensor. Los datos recogidos por el sensor serán procesados por el Arduino y se visualizarán en el ordenador.

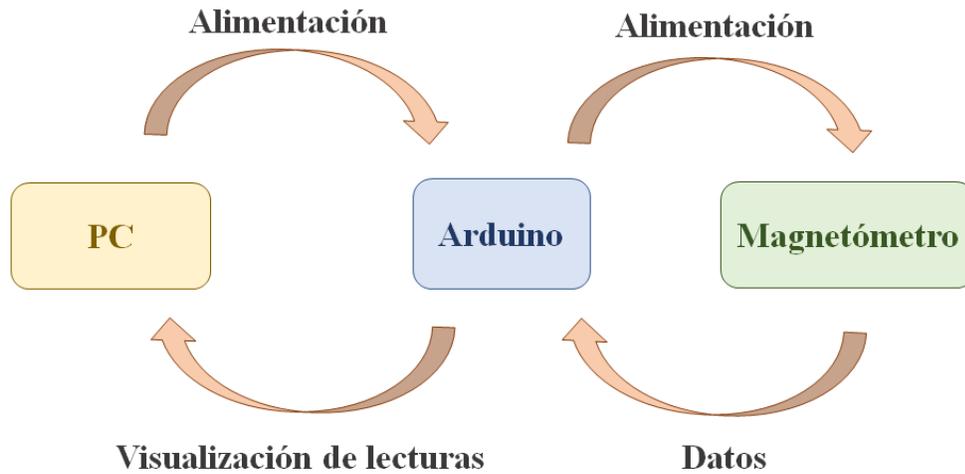


Figura 4.9.- Esquema de funcionamiento.

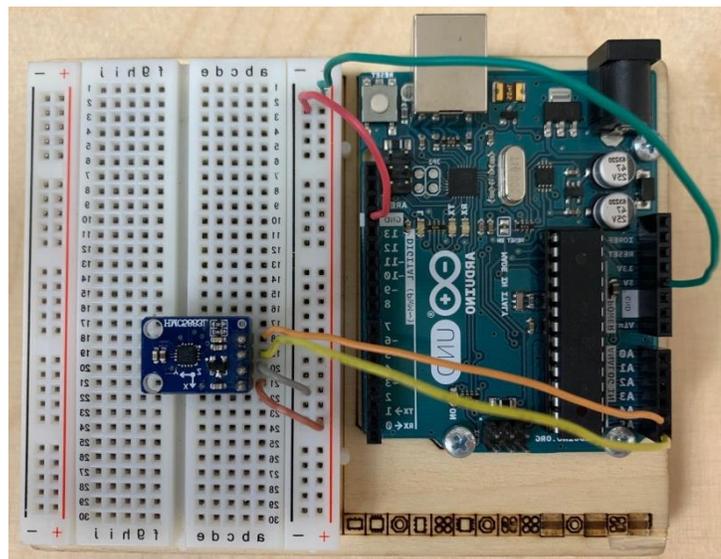


Figura 4.10.- Prototipo de sensor.

4.2.2.- Multiplexor

En el caso de que se deseen conectar dos magnetómetros a la misma placa de Arduino es necesario el uso de un multiplexor, dado que ambos magnetómetros tienen la misma dirección I2C fija y la placa no puede tener dos dispositivos con la misma dirección en los mismos pines SDA / SCL.



Figura 4.11.- Multiplexor TCA9548A.

Este multiplexor actúa como un controlador de acceso y transfiere los comandos al conjunto seleccionado de pines I2C. Es una forma de obtener hasta 8 dispositivos I2C con la misma dirección conectados a un microcontrolador. El multiplexor en sí está en la dirección I2C 0x70 y solamente es necesario escribir un byte con el número de salida multiplexado que se desee para ese puerto, de esa manera cualquier paquete I2C futuro será enviado a ese puerto. En teoría, se pueden tener 8 de estos multiplexores en cada una de las direcciones 0x70-0x77 para controlar 64 dispositivos con la misma dirección I2C. El chip en sí es compatible con 1.8V - 5V, por lo que puede usarse con cualquier nivel lógico.

En este caso el pin V_{IN} del multiplexor se conectará a los 5V de la placa, al igual que el V_{CC} del magnetómetro. Las GND se conectan igualmente. La diferencia es que ahora son los pines SDA y SCL del multiplexor los que se conectan al A4 y A5 de la placa Arduino respectivamente, y los pines SDA Y SCL del magnetómetro se conectarán al SDx y SCx del multiplexor dependiendo de la dirección deseada.

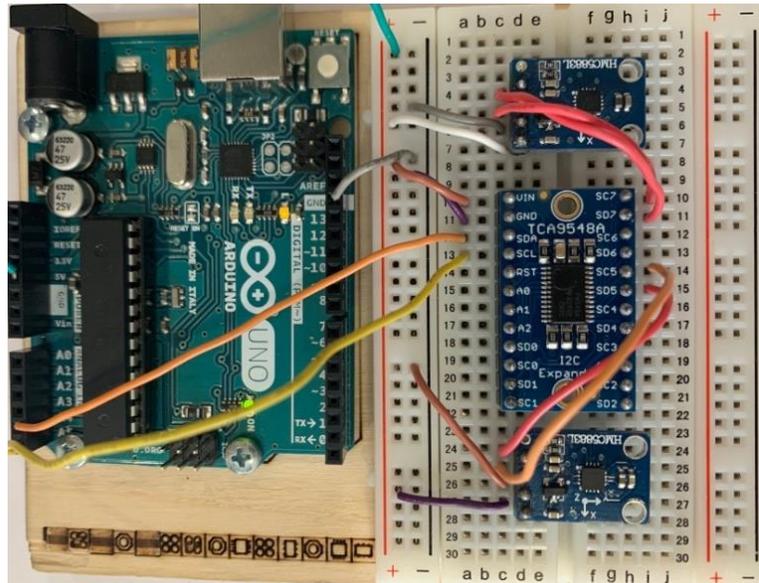


Figura 4.12.- Prototipo de sensor con multiplexor.

4.2.3.- Planos

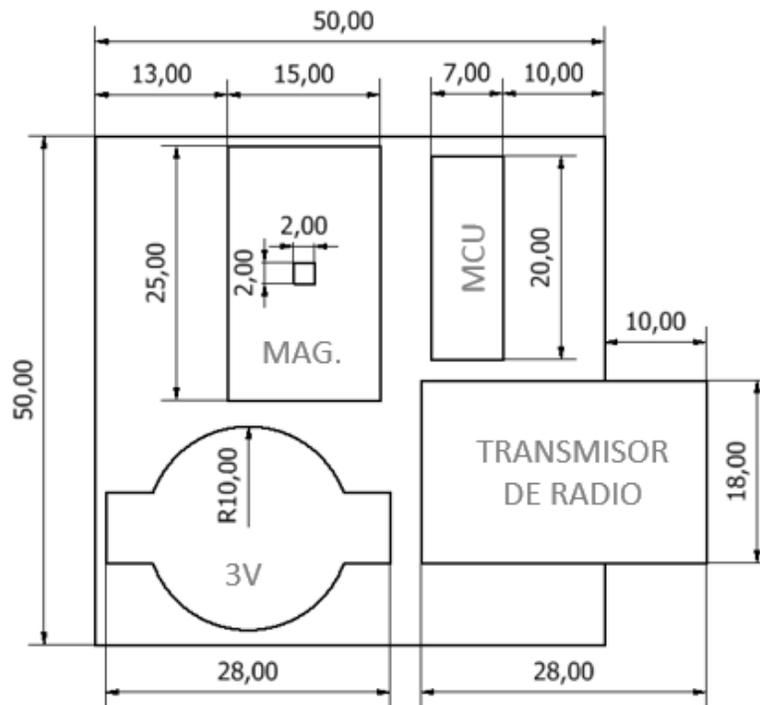


Figura 4.13.- Plano del sensor.

4.2.3.1.- Esquema de conexiones

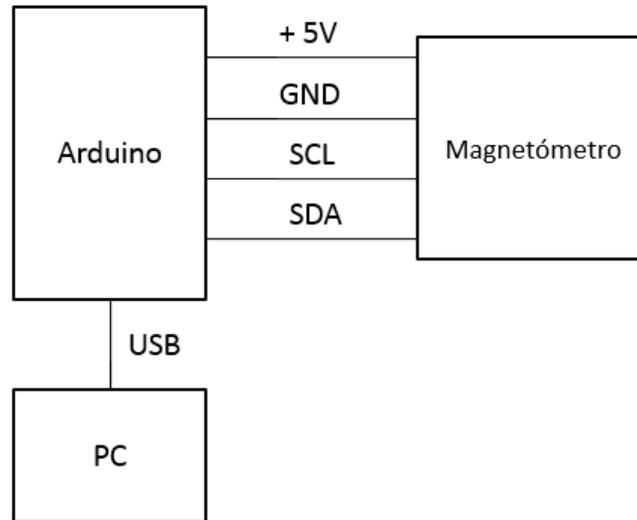


Figura 4.14.- Esquema de conexiones con un único magnetómetro.

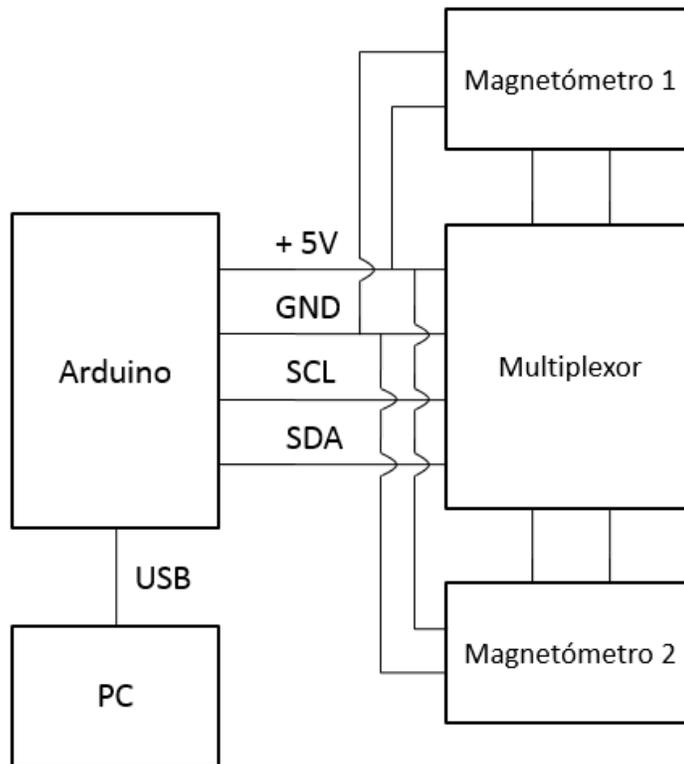


Figura 4.15.- Esquema de conexiones con dos magnetómetros.

4.2.3.2.- Esquema eléctrico

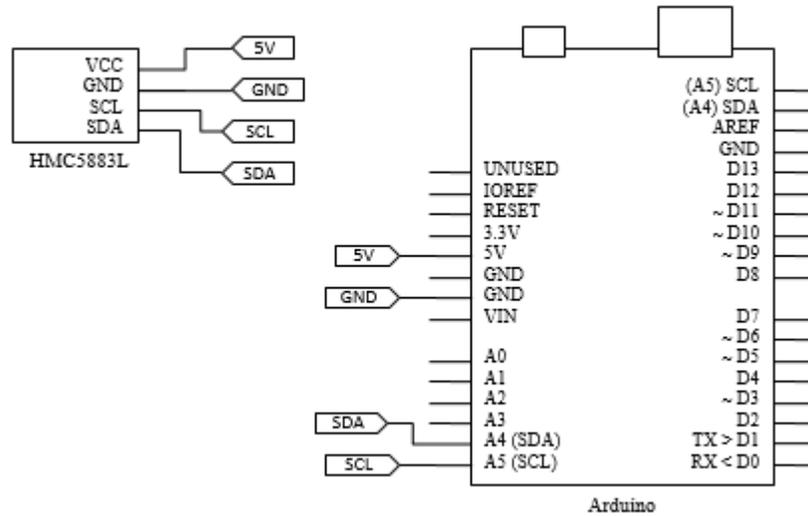


Figura 4.16.- Esquema eléctrico para un único magnetómetro.

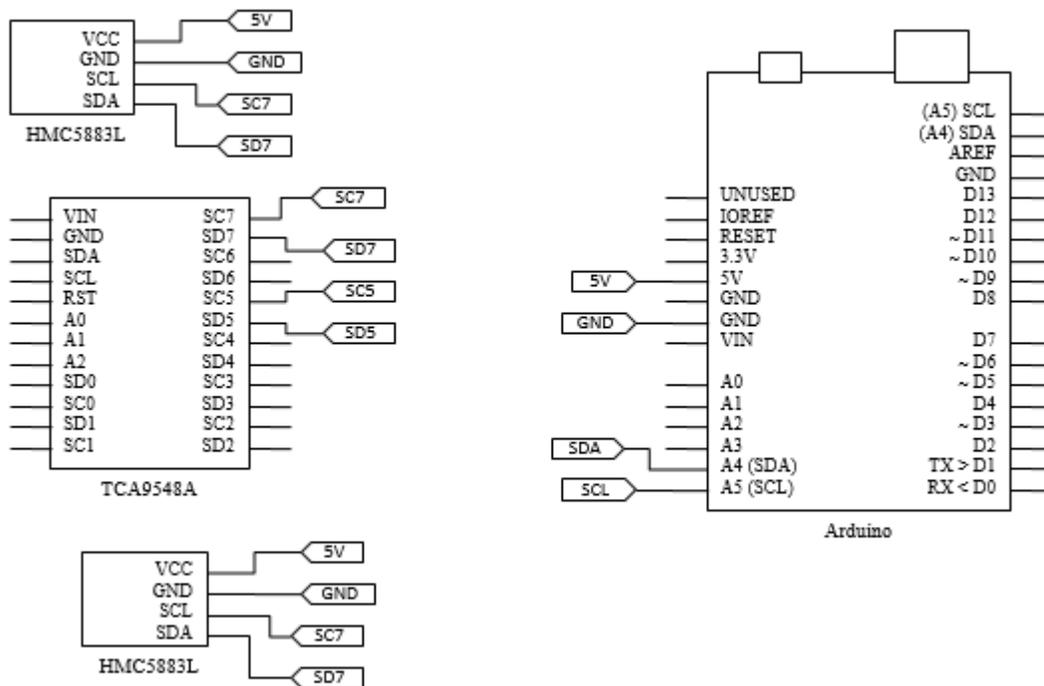


Figura 4.17.- Esquema eléctrico para dos magnetómetros.

4.2.4.- Código

Para escribir el código se utilizarán las librerías creadas por Adafruit Industries. Este tipo de dispositivos usan I2C para comunicarse, por lo que se requieren 2 pines para interactuar. El programa es de software libre, con lo que puede redistribuirse y / o modificarse bajo los términos Licencia Pública General de GNU publicada por la Free Software Foundation. El código es el siguiente:

```

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_HMC5883_U.h>

/* Assign a unique ID to this sensor at the same time */
Adafruit_HMC5883_Unified mag = Adafruit_HMC5883_Unified(12345);

void displaySensorDetails(void)
{
  sensor_t sensor;
  mag.getSensor(&sensor);
  Serial.println("-----");
  Serial.print  ("Sensor:      "); Serial.println(sensor.name);
  Serial.print  ("Driver Ver:  "); Serial.println(sensor.version);
  Serial.print  ("Unique ID:   "); Serial.println(sensor.sensor_id);
  Serial.print  ("Max Value:   "); Serial.print(sensor.max_value);
Serial.println(" uT");
  Serial.print  ("Min Value:   "); Serial.print(sensor.min_value);
Serial.println(" uT");
  Serial.print  ("Resolution:  "); Serial.print(sensor.resolution);
Serial.println(" uT");
  Serial.println("-----");
  Serial.println("");
  delay(500);
}

void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("HMC5883 Magnetometer Test"); Serial.println("");

  /* Initialise the sensor */
  if(!mag.begin())
  {
    /* There was a problem detecting the HMC5883 ... check your connections
*/
    Serial.println("Oops, no HMC5883 detected ... Check your wiring!");
    while(1);
  }

  /* Display some basic information on this sensor */
  displaySensorDetails();
}

```

```

}

void loop(void)
{
  /* Get a new sensor event */
  sensors_event_t event;
  mag.getEvent(&event);

  /* Display the results (magnetic vector values are in micro-Tesla (uT))
  */
  Serial.print("X: "); Serial.print(event.magnetic.x); Serial.print(" ");
  Serial.print("Y: "); Serial.print(event.magnetic.y); Serial.print(" ");
  Serial.print("Z: "); Serial.print(event.magnetic.z);
  Serial.print(" "); Serial.println("uT");

  delay(500);
}

```

4.2.5.- Carcasa

A continuación, se detalla cómo se llevó a cabo el diseño de la carcasa para el prototipo del sensor. El software utilizado es Autodesk Inventor Professional.

4.2.5.1.- Base

Se diseñó una base circular donde irá contenido el sensor y que será la parte que se ancle al suelo. Los bordes tienen diferentes alturas para que encajen mejor con la parte superior.

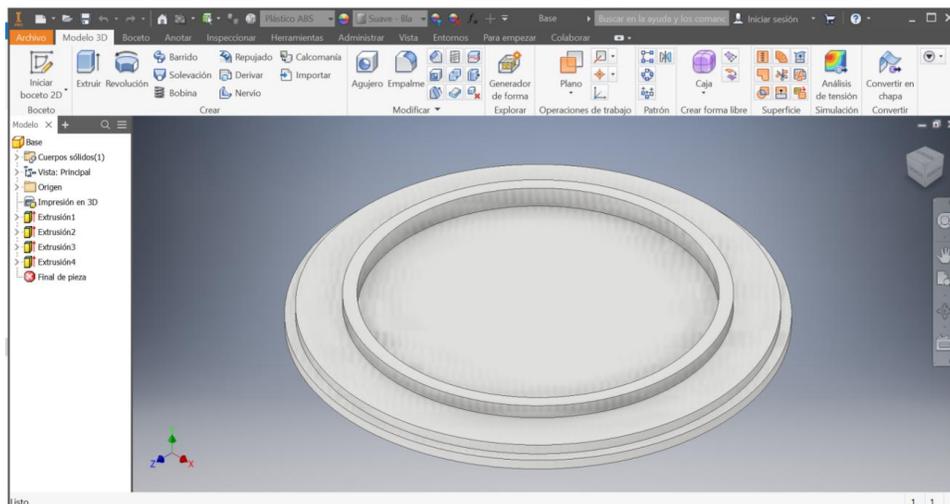


Figura 4.18.- Base.

Para la cubierta se diseñaron dos modelos, uno con forma de cúpula y otro con el cuerpo cónico. El modelo que finalmente se utilizará se decidirá en función del desempeño que tenga cada uno de ellos en la fase de pruebas.

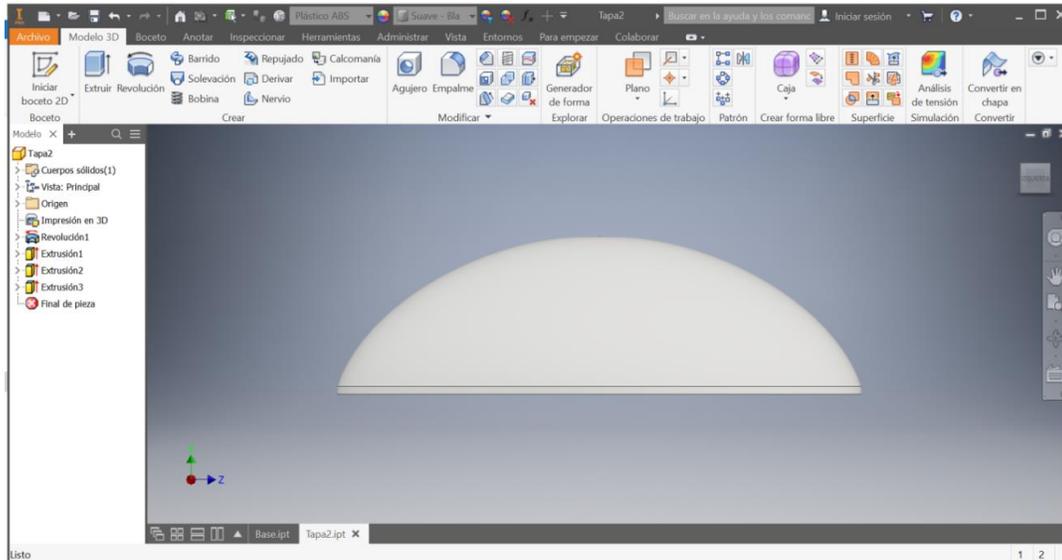


Figura 4.19.- Cúpula. Vista lateral.

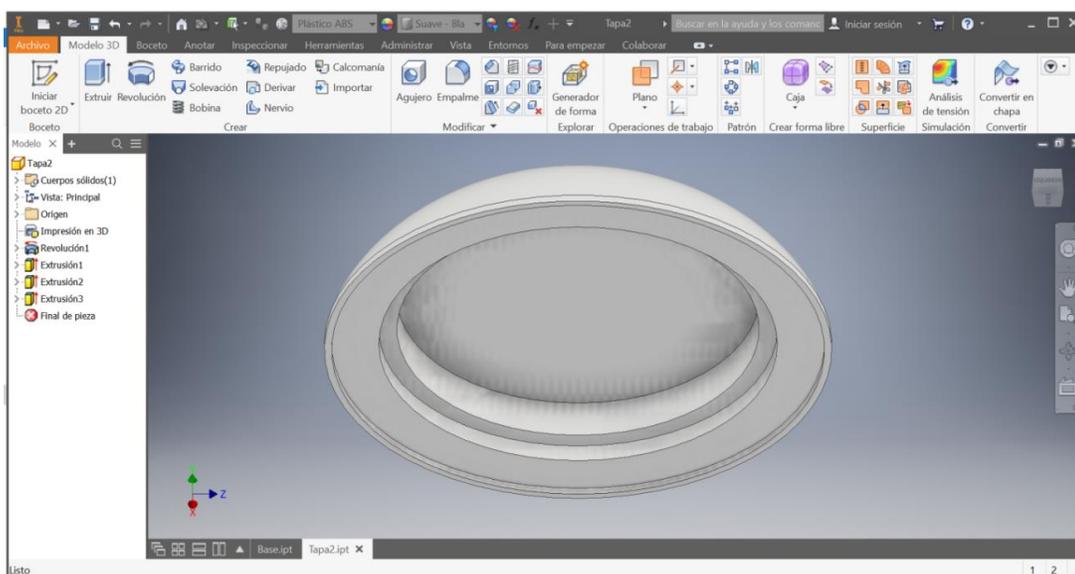


Figura 4.20.- Cúpula. Vista inferior.

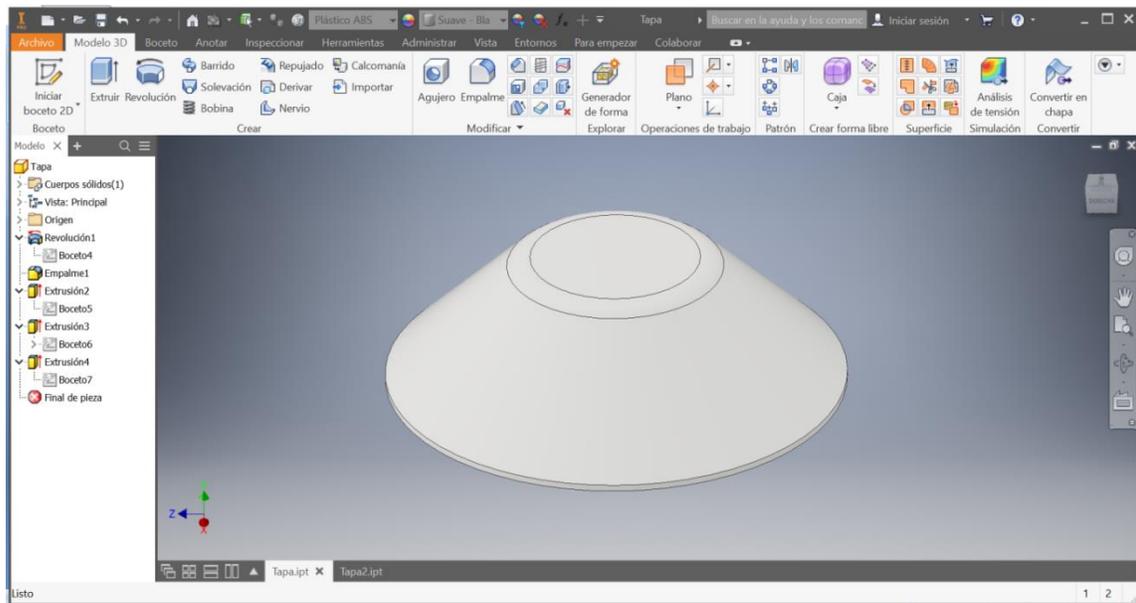


Figura 4.21.- Modelo cónico. Vista superior.

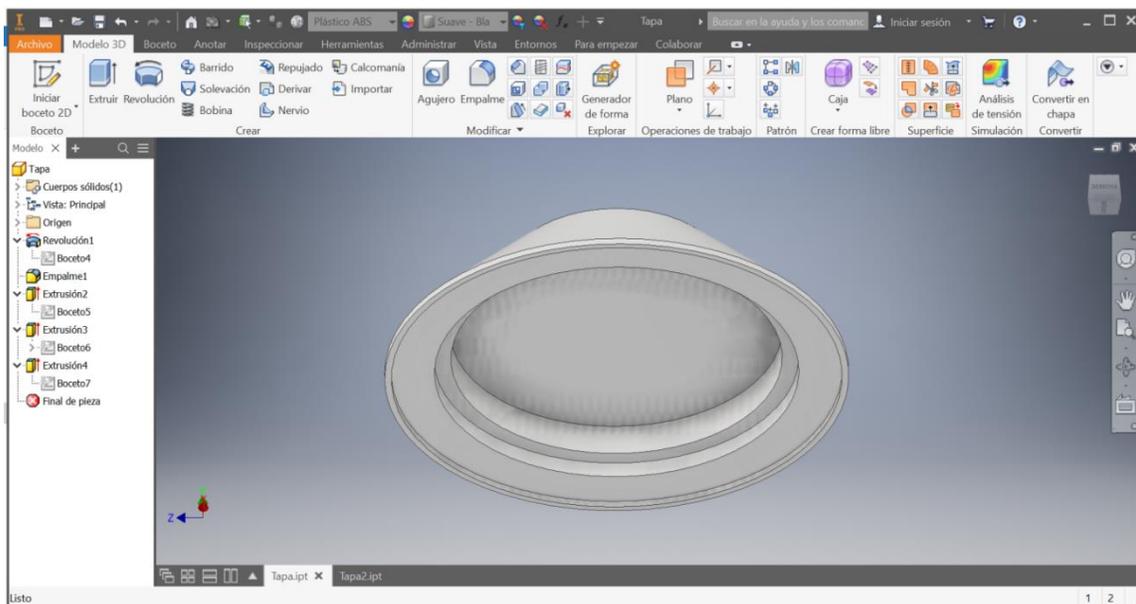


Figura 4.22.- Modelo cónico. Vista inferior

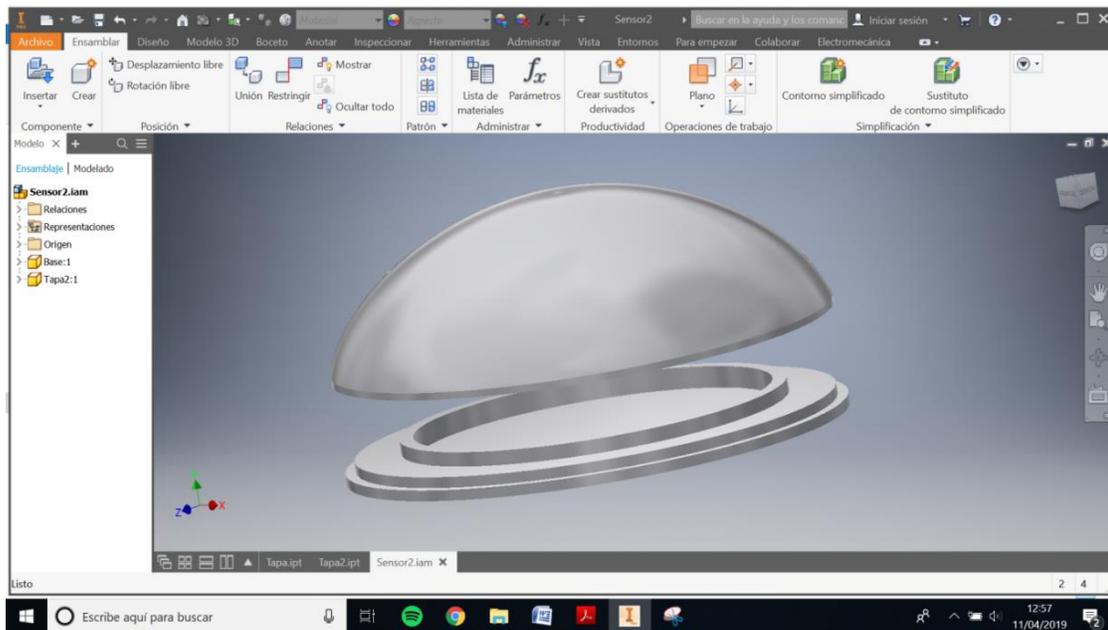


Figura 4.23.- Ensamblaje cúpula.

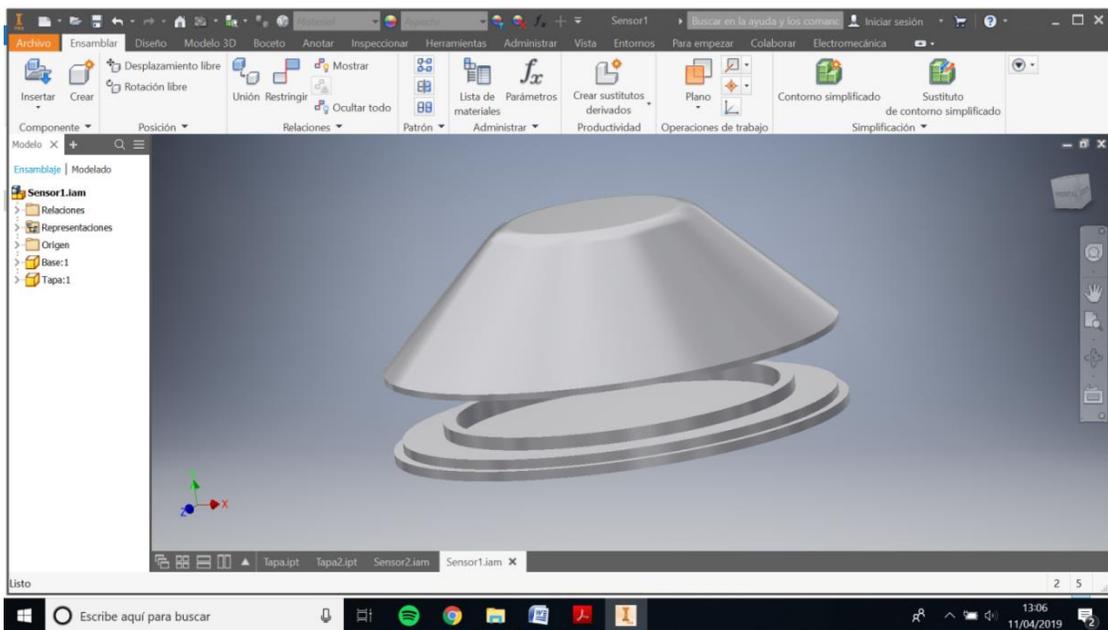


Figura 4.24.- Ensamblaje cónico.

4.2.5.2.- Análisis de elementos finitos

El software de Autodesk cuenta con una herramienta de análisis de elementos finitos que, aunque no es objetivo de la presente fase, se llevará a cabo una simulación como ejemplo. Para ello habrá que seleccionar el material con el que se va a trabajar, que en este ejemplo se ha escogido plástico ABS.

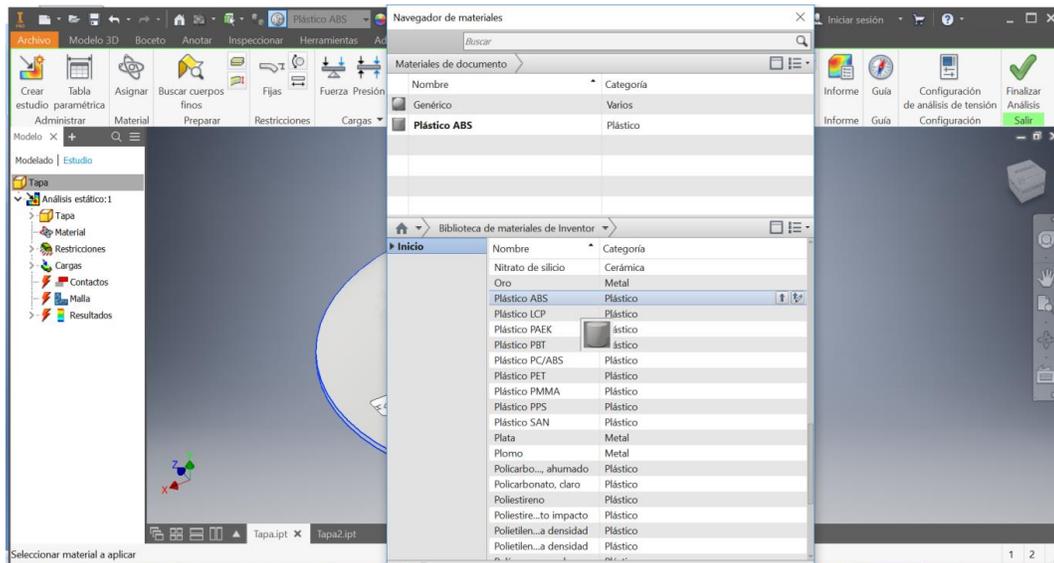


Figura 4.25.- Selección del material.

El siguiente paso es determinar las fuerzas a las que estará sometido el objeto. Como ejemplo, suponiendo un coche de 1.000 kg, se aplicará una fuerza de 10.000 N sobre la superficie de la cubierta.

También habrá que especificar una parte fija, es decir un apoyo, que en este caso será la zona plana inferior, donde estará unida a la base.

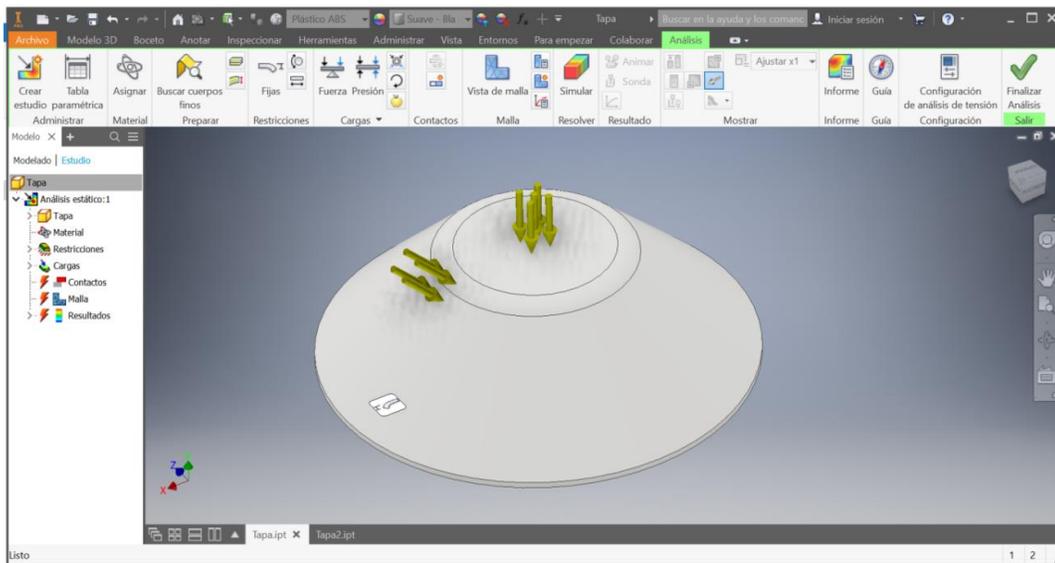


Figura 4.26.- Fuerza aplicada.

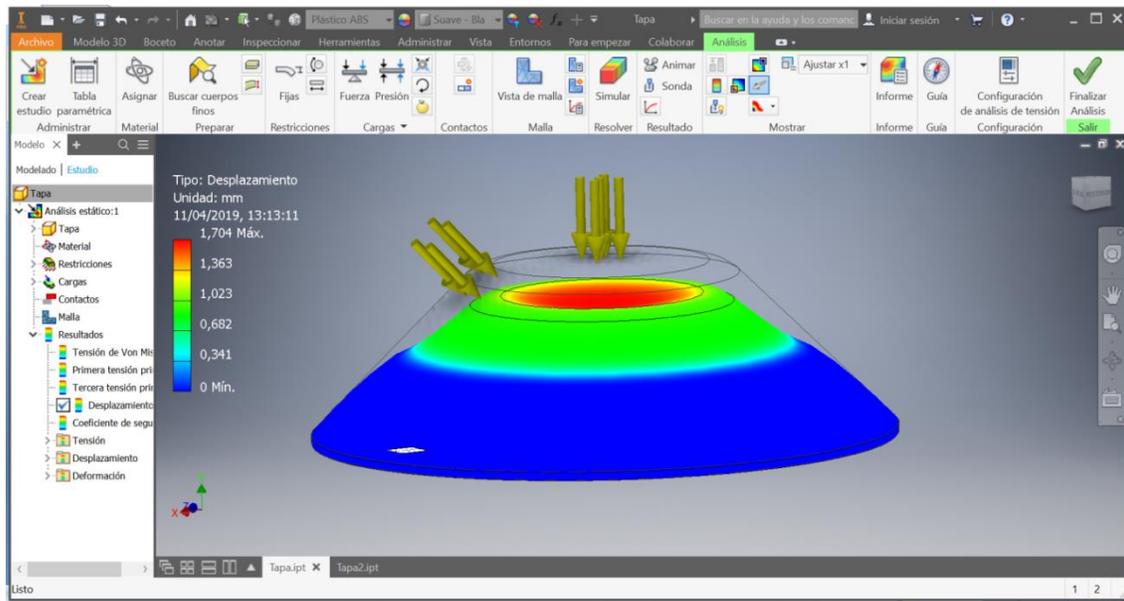


Figura 4.27.- Análisis de elementos finitos modelo cónico.

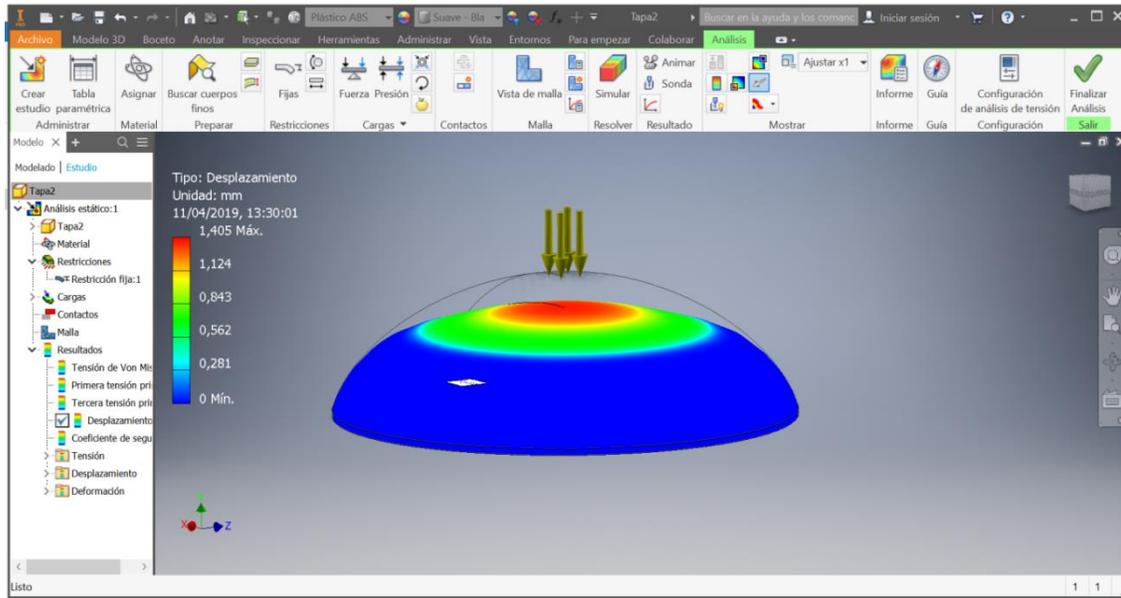


Figura 4.28.- Análisis de elementos finitos modelo cúpula.

Las Figura 4.29Figura 4.30Figura 4.31 muestran el resultado final de los dos tipos de carcasa una vez que han sido impresas.



Figura 4.29.- Tapa tipo cúpula.



Figura 4.30.- Tapa cónica.



Figura 4.31.- Tapa y base.

4.3.- Fase de pruebas

En este apartado se describe el plan de pruebas para el prototipo de sensor, cuyo componente principal es el magnetómetro HMC5883L. El propósito es determinar su comportamiento al ser expuesto a la presencia de diferentes cuerpos metálicos en distintas posiciones y orientaciones.

Este tipo de sensor mide la intensidad del campo magnético al que se encuentra sometido que, en circunstancias normales, es solamente el terrestre. Dicho campo se ve alterado localmente con la presencia de otros campos magnéticos menores, como los producidos por cables eléctricos o por la presencia de cuerpos metálicos. El objetivo de los sensores que se van a desarrollar es medir dichas alteraciones en el campo magnético con el fin de poder determinar la presencia de vehículos.

Las pruebas que se van a efectuar tienen como finalidad conocer el comportamiento del sensor al ser expuesto a diversas situaciones y establecer los límites en la variación de las mediciones a partir de los cuales puede considerarse que el motivo de la alteración en el campo magnético terrestre se debe a un vehículo estacionado y más concretamente al tipo de vehículo, ya sea turismo, camión, moto u otros.

4.3.1.- Pruebas de variación en el tiempo

En primer lugar, se realiza una prueba para establecer la variación del campo magnético a lo largo del tiempo que puede observarse en las medidas del magnetómetro. Es decir, en ausencia de objetos que puedan alterar el campo magnético presente, se deja el sensor recopilando datos durante 5 horas y se comprobará que éstas no fluctúen demasiado. La prueba se lleva a cabo con dos magnetómetros a la vez y se realiza una medición cada 500 segundos.

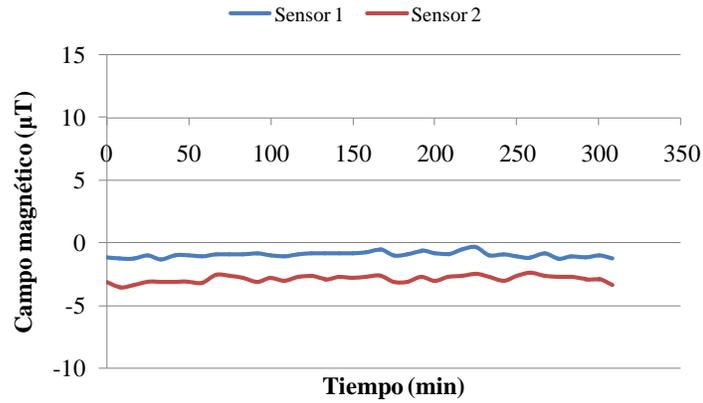


Figura 4.32.- Variación en el tiempo para la componente X.

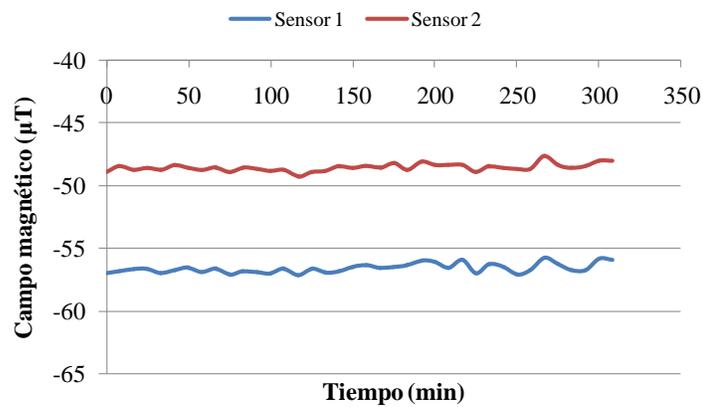


Figura 4.33.- Variación en el tiempo para la componente Y.

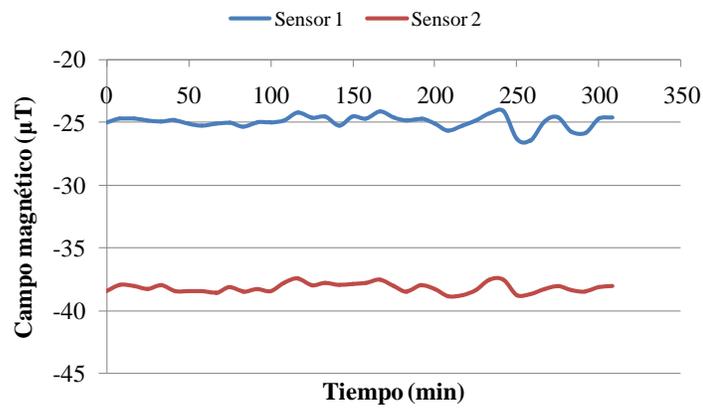


Figura 4.34.- Variación en el tiempo para la componente Z.

De esta prueba se deduce que las variaciones no son significativas, pues están alrededor de $1 \mu\text{T}$, pudiendo deberse a fluctuaciones externas ya que la prueba se llevó a cabo en el recinto de la oficina.

4.3.2.- Pruebas de temperatura

En esta prueba el magnetómetro se sometió a una variación de temperatura desde los 6°C hasta los 48°C aproximadamente. Una temperatura dentro de este rango puede darse en una ciudad en determinadas épocas del año y es conveniente saber si es posible que las mediciones del sensor sean sensibles a estos cambios. Para ello se añadió al prototipo un sensor de temperatura como se muestra en la Figura 4.35.

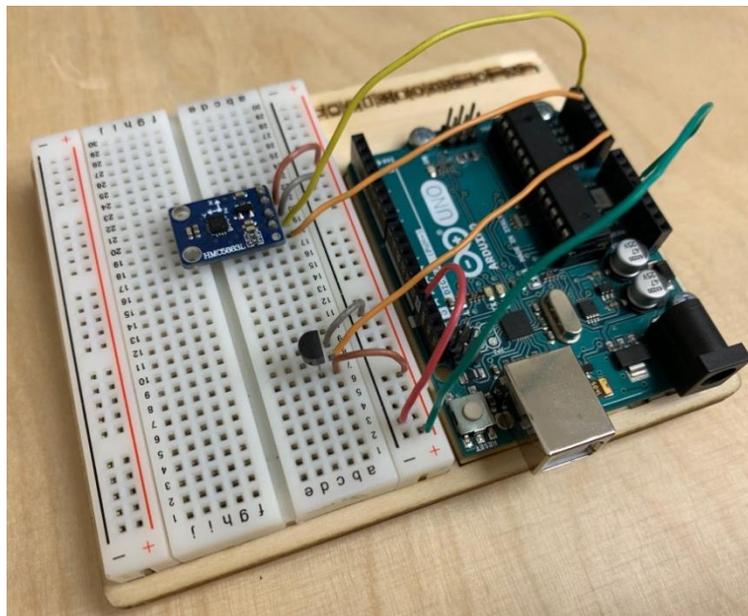


Figura 4.35.- Prototipo con sensor de temperatura.

Los resultados obtenidos para las distintas componentes espaciales se muestran a continuación.

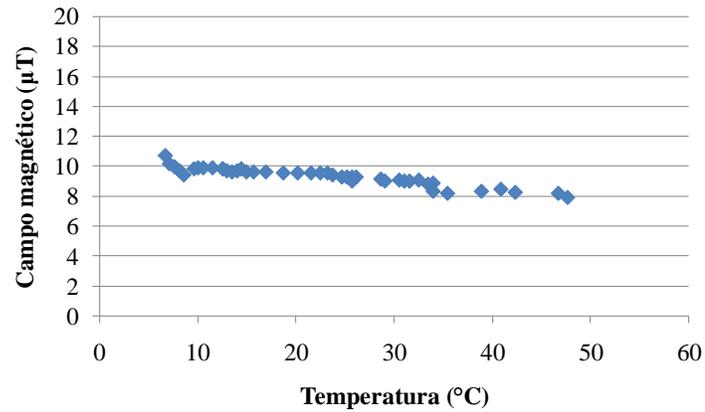


Figura 4.36.- Campo magnético en función de la temperatura para la componente X.

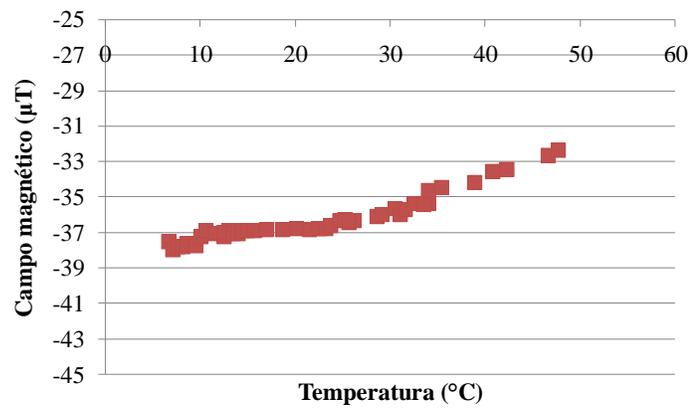


Figura 4.37.- Campo magnético en función de la temperatura para la componente Y.

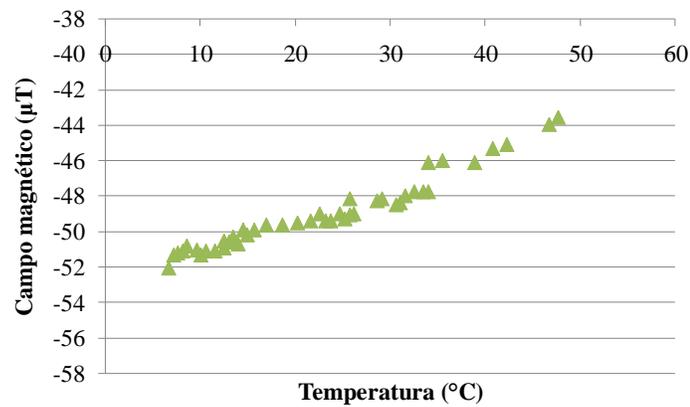


Figura 4.38.- Campo magnético en función de la temperatura para la componente Z.

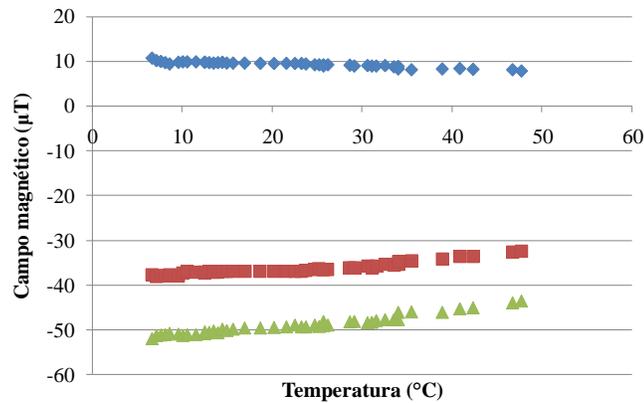


Figura 4.39.- Variación del campo magnético en función de la temperatura para las 3 componentes.

En definitiva, la variación del campo magnético para las 3 componentes en función de la temperatura es bastante notable para las componentes Y y Z, pudiendo alcanzar una variación del orden de $8 \mu\text{T}$, suficiente para provocar un falso positivo. Por otra parte, la variación para la componente X puede despreciarse ya que no supera los $2 \mu\text{T}$, pudiéndose deducir que esta componente es la menos sensible a la temperatura.

4.3.3.- Pruebas en vacío

La primera fase de las pruebas consiste en tomar medidas en vacío, es decir, en ausencia de elementos que puedan distorsionar el valor del campo magnético presente. Por lo tanto, en estas condiciones, deberían registrarse los valores correspondientes al campo magnético terrestre, que en esta posición geográfica concreta está en torno a $46 \mu\text{T}$.

Para llevar a cabo esta prueba se escoge una zona de césped situada en el Parque Científico y Tecnológico de Gijón y se tomarán 3 medidas en distintos lugares del mismo. Con esto se pretende conocer mejor el funcionamiento del sensor, qué datos proporciona y tener una concordancia entre los valores.



Figura 4.40.- Pruebas en vacío.

Teniendo en cuenta la disposición de los ejes del sensor, en cada punto donde se toman las medidas se recogen a su vez 4 valores distintos, uno para cada orientación geográfica, es decir, el eje x del sensor orientado al norte, oeste, sur y este. Por lógica estas medidas deberían estar relacionadas entre sí, es decir, si el eje “y” muestra un valor de 10 cuando el eje “x” está orientado al norte, al rotar el sensor hacia el oeste, ahora el eje “x” es el eje “y” anterior y debería mostrar el valor de 10. Esto se puede ver más claro en la siguiente imagen.

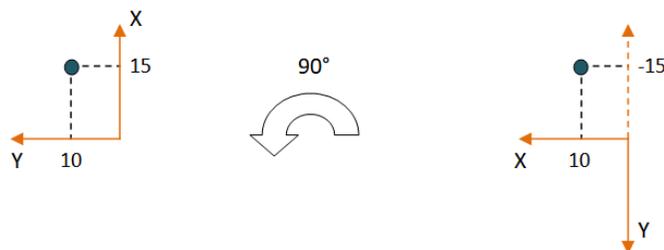


Figura 4.41.- Relación entre ejes.

Una vez recogidas los datos se observa que no ocurre lo que se ha mencionado antes. Si se plasman los 4 resultados de cada orientación correspondientes a una sola medición en una gráfica, se observa lo siguiente:

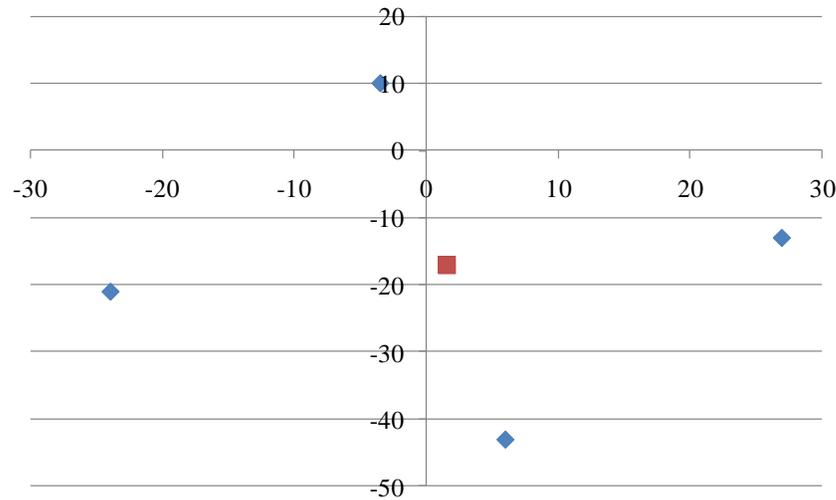


Figura 4.42.- Medidas con descentramiento. Unidades en μT .

Los cuatro puntos azules, que en realidad representan el mismo punto, pero uno para cada orientación geográfica, no tienen su centro en el 0, sino que está desplazado como muestra el punto rojo, lo que indica que el sensor tiene un offset y ha de ser calibrado.

Procedimiento para determinar el descentramiento del sensor

Dado que el sensor tiene un offset para cada eje, con el objetivo de calcular el valor de cada uno de ellos, se seguirá el siguiente procedimiento:

- 1) Con el sensor colocado de manera que el plano XY quede en posición horizontal se tomará una medida para cada orientación, girando el eje Z 90° en dirección

contraria a las agujas del reloj, visto desde el sentido positivo del eje Z, determinando de esta manera el offset del eje X y del Y.

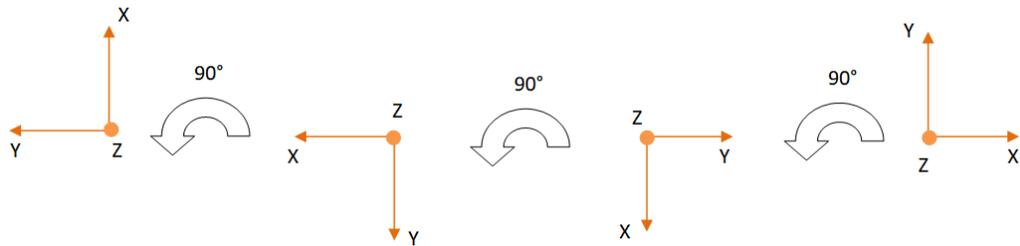


Figura 4.43.- Orientación ejes XY.

- 2) Partiendo de la primera orientación del apartado anterior, ahora se toma otra medida para cada orientación con el plano XY en horizontal y girando el sensor sobre el eje X 90° en el sentido contrario a las agujas del reloj, obteniendo así el offset de Y y Z.

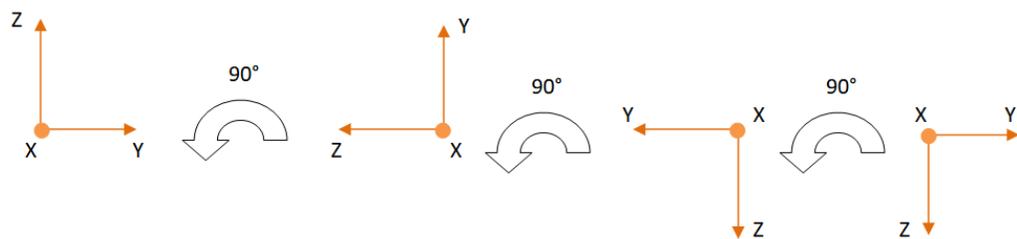


Figura 4.44.- Orientación ejes YZ.

Si en estas condiciones se cogen las coordenadas máximas y mínimas de cada eje, las coordenadas de dicho descentramiento serán entonces:

$$X_{centro} = \frac{(X_{max} + X_{min})}{2} \quad (4.1)$$

$$Y_{centro} = \frac{(Y_{max} + Y_{min})}{2} \quad (4.2)$$

$$Z_{centro} = \frac{(Z_{max} + Z_{min})}{2} \quad (4.3)$$

A continuación, se restan estas coordenadas a las obtenidas por el sensor, de tal manera que ahora sí se cumple con lo mencionado anteriormente.

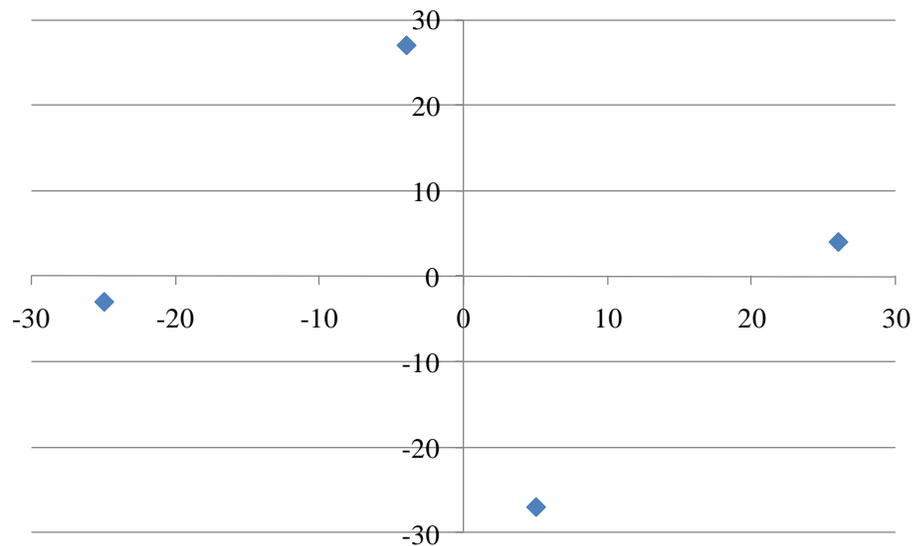


Figura 4.45.- Medidas sin descentramiento. Unidades en μT .

Al realizar esto primero para el plano XY y luego para el YZ se tendrán dos valores de offset de la coordenada Y, estos dos valores deberían ser el mismo.

Resultados

Dado que las medidas realizadas se han tomado para distintas posiciones de los ejes a la hora de representarlas en una gráfica habrá que “traducirlas” a las coordenadas de Excel, es decir, pasar de las coordenadas particulares del sensor en cada orientación, a unas coordenadas absolutas de manera que se obtenga el valor real del campo magnético.

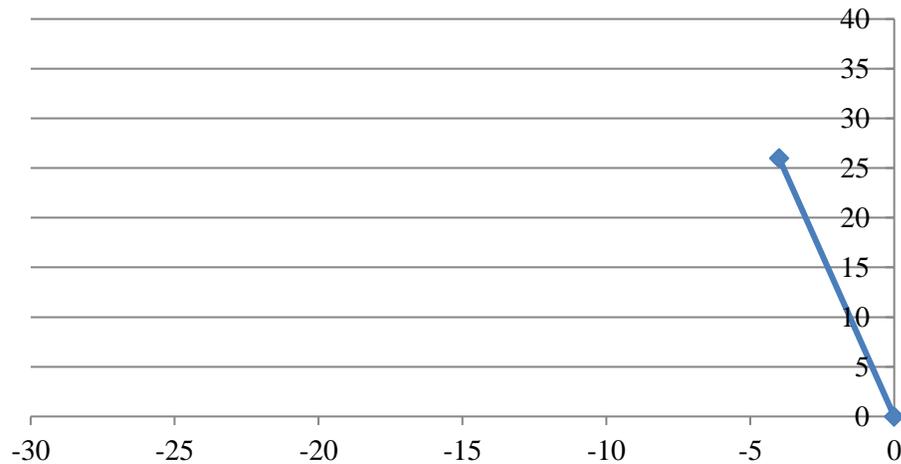


Figura 4.46.- Orientación del campo magnético. Unidades en μT .

Si se une dicho punto con el centro, la recta correspondiente señalará al norte magnético de la tierra, como una brújula. Si se calcula la resultante de las tres componentes por trigonometría ($R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$) se obtiene finalmente el valor del campo magnético esperado, en torno a $46 \mu\text{T}$.

4.3.4.- Pruebas con diferentes objetos

Esta prueba consiste en observar el efecto que tienen sobre el magnetómetro diversos objetos metálicos con el fin de conocer el valor de la distorsión esperada que puede producir un vehículo u otros elementos que se encuentre en la vía.

En un primer momento se registra la medida de los tres ejes por separado, y por último se valorará la posibilidad de realizar mediciones tan solo en el eje vertical. Dado que el sensor mide principalmente el campo magnético terrestre, el cual tiene una orientación y sentido específicos, debe de mantenerse siempre la misma orientación respecto al objeto de medida, ya que modificarla repercute directamente en la medición.

Prueba 0: Medida en vacío

Se registra el valor del sensor sobre el asfalto, en ausencia de vehículos, personas o cualquier otro elemento que pueda distorsionar la medición, para ser empleado como valor de referencia, el cual se espera que sea el correspondiente al campo magnético terrestre.

Para comprobar la coherencia entre las mediciones se toma dicho valor sobre distintas superficies, por ejemplo, tierra, asfalto, hormigón armado, etc.

Prueba 1: Medidas con y sin ordenador

Una vez orientado el sensor en la posición deseada, y manteniéndola en las pruebas sucesivas, se toma la misma medida varias veces, variando progresivamente la distancia del ordenador al sensor, con el objetivo de ver si éste tiene un efecto relevante sobre la variación del campo magnético que detecta el sensor.

Prueba 2: Medidas con y sin recubrimiento

El objetivo de esta prueba es determinar si el recubrimiento que llevarán los sensores afectará de alguna manera a sus medidas. Para ello se toma una medida sin ningún tipo de recubrimiento sobre el sensor y otra en el mismo lugar con el sensor cubierto de una carcasa, y se comprueba que los valores resultantes sean iguales.

Prueba 3: Sensor centrado bajo un vehículo

Esta sería la prueba que proporciona el valor esperado en condiciones ideales, es decir, un vehículo estacionado, centrado sobre el sensor y sin cuerpos extraños que puedan distorsionar el campo en las inmediaciones.

Las cuatro pruebas realizadas hasta ahora se realizan en el mismo lugar de manera que sólo varía la posición del ordenador o el recubrimiento del sensor, pero no su localización.

Prueba 4: Sensor bajo vehículo a diferentes distancias a lo largo de sus ejes

En este caso, el sensor se sitúa a nivel del suelo, centrado longitudinalmente con el vehículo y se va desplazando a lo largo de cada uno de sus dos ejes en el plano horizontal cada 30 cm, hasta que éste deje de ejercer influencia sobre el sensor, con el fin de comprobar cómo varía la medición en función de la distancia al coche y a partir de qué punto ésta deja de ser válida.

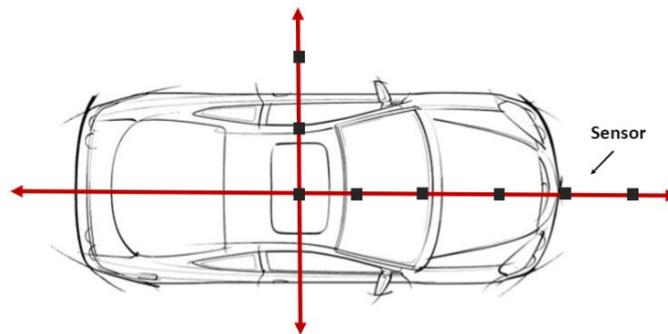


Figura 4.47.- Medidas respecto al vehículo.

Prueba 5: Sensor en las inmediaciones de un contenedor de basura

Para esta prueba se colocará el sensor a varias distancias de un contenedor (6 medidas, una cada 30 cm), al nivel del suelo, con el objetivo de determinar si se comporta de forma diferente a cuando se sitúa cerca de un vehículo, si es posible distinguir entre ambos y a qué distancia deja de detectarse.



Figura 4.48.- Medidas en un contenedor de basura.

Prueba 6: Sensor en las inmediaciones de una alcantarilla

Al igual que en la prueba anterior se colocará el sensor a varias distancias de una alcantarilla, con el objetivo de determinar si produce una distorsión susceptible de ser detectada por el sensor de tal manera que afecte a las medidas del vehículo, y determinar a qué distancia ésta deja de tener efecto.



Figura 4.49.- Medidas en una alcantarilla.

Prueba 7: Objetos metálicos pequeños

Se acercan objetos metálicos cotidianos, tales como latas, teléfonos móviles, bicicletas, patinetes, etc. para comprobar la magnitud de la variación sobre el sensor y determinar si pueden confundirse con la de vehículo en caso de que accidentalmente caiga alguno de ellos en las inmediaciones del sensor.

Prueba 8: Diferencias según el tipo de vehículo

Se coloca el sensor bajo distintos vehículos, como motocicletas, furgonetas o camiones, en los mismos intervalos que en la prueba 1, para comparar dicha medición con la proporcionada por un coche y de esta manera saber si es posible determinar el tipo de vehículo estacionado.

Prueba 9: Presencia de personas en las cercanías

Se registra el valor proporcionado por el sensor al situarse una persona sobre él y a intervalos de 30 cm hasta que deje de observarse influencia en el sensor, para determinar la variación que pueden producir los peatones sobre el mismo. Se repetirá esta prueba con 2, 3 y 4 personas.

Conclusiones

Tras realizar las pruebas descritas anteriormente se llega a una serie de conclusiones que serán clave para poder continuar con el desarrollo de las siguientes fases del proyecto:

- Los valores medidos por el sensor para las componentes x , y , z cambian dependiendo de la orientación de éste respecto al norte magnético de la tierra, así como de la orientación respecto al coche. Por este motivo en futuras pruebas deberá mantenerse siempre la misma orientación del sensor respecto al coche.

- El ordenador sólo afecta a las medidas cuando éste se encuentra muy próximo al sensor, casi tocándolo, lo cual se ha evitado durante las pruebas.
- El recubrimiento, como era de esperar, no afecta a las medidas.
- Los datos obtenidos debajo del vehículo no se pueden tomar como un valor de referencia ya que depende de multitud de variables como la orientación, el tipo de vehículo, la cantidad de hierro que tenga, la posición del sensor respecto al coche, etc.
- El contenedor de basura es susceptible de ser detectado a una distancia máxima aproximada de 90 cm, y la alcantarilla a 30 cm.
- Los objetos metálicos tales como latas o llaves apenas afectan a las mediciones, salvo los teléfonos móviles en el caso de que se encuentren muy próximos al sensor.
- Es difícil discernir el tipo de vehículo basándose sólo en los datos obtenidos ya que dependen de muchos otros factores y en ocasiones la distorsión que produce una motocicleta justo encima del sensor es más fuerte que un vehículo situado sobre él, dependiendo de la posición.
- Las personas no afectan a las mediciones.

A partir de este momento se continúa con la fase de pruebas teniendo en consideración todas las premisas mencionadas.

4.3.5.- Pruebas bajo diferentes vehículos

Durante esta prueba se toman medidas a lo largo del eje longitudinal de diferentes tipos de vehículos que más tarde se analizarán con el objetivo de poder detectar en qué punto termina y empieza el coche.

Para ello se comienza con la primera medida delante del vehículo a una distancia suficiente como para que el campo no se encuentre alterado por el coche y se continúa midiendo mientras se desplaza el sensor cada de 30 cm a lo largo de su eje longitudinal hasta salir por el otro extremo. Con esto se obtiene un perfil aproximado de la distorsión que produce el coche.

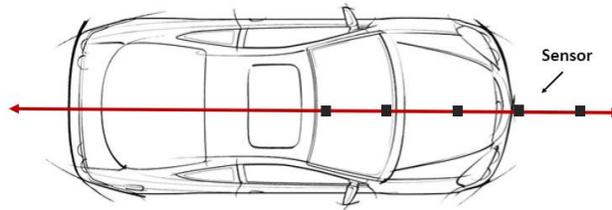


Figura 4.50.- Disposición del sensor durante las pruebas.

4.3.6.- Pruebas para determinar el umbral

En vista de los resultados obtenidos en las pruebas anteriores se decide que la mejor opción para detectar la presencia de un vehículo en base a las componentes del campo magnético que proporciona el sensor es estableciendo un valor umbral que, en caso de sobrepasarse, se considerará que ese valor está siendo alterado por un elemento externo.

Este umbral se obtendrá a partir de las componentes en los tres ejes x, y, z, del campo magnético que proporciona la lectura del sensor. Dicho valor hará de línea de transición entre los valores que se consideran alterados por un vehículo y los que no, es decir, si un valor supera este umbral se entenderá que es suficientemente distinto al valor “normal”, con lo que podrá considerarse que está siendo alterado por el vehículo u otros elementos.

Para obtener este valor umbral se tomará una medida en cada coche, aproximadamente unos 30 cm por delante de la parte delantera o trasera del coche. También es posible hacer ambas si las condiciones lo permiten. Lo más óptimo es tener una muestra del mayor número de coches posible. La orientación del sensor respecto al coche ha de ser siempre la misma.



Figura 4.51.- Colocación del sensor para obtención del umbral.

4.3.7.- Pruebas de resistencia de la carcasa

A continuación, se describe el plan de pruebas que se llevará a cabo para el revestimiento del sensor, diseñado y fabricado mediante impresión 3D. El objetivo es determinar su comportamiento al ser expuesto a diferentes fuerzas de cara a su posterior implementación en sensores de presencia para plazas de aparcamiento.

Las pruebas que se van a efectuar tienen como finalidad establecer la resistencia física de la carcasa y sus limitaciones, para poder determinar si será capaz de aguantar el peso de cualquier vehículo que pueda posicionarse sobre la misma, así como posibles agresiones directas sobre el sensor.

Como medida de precaución ante una posible rotura del elemento todas las medidas se llevarán a cabo, salvo casos concretos, manteniéndose a una distancia prudencial del dispositivo

en cuestión y retirando todos los elementos que estén fuera del objetivo de la prueba. Todas las pruebas que se detallan a continuación se realizarán sobre dos modelos de recubrimiento, cuya única diferencia es su diseño exterior. Cada uno de estos modelos se anclará al suelo mediante un adhesivo bituminoso.

Prueba 1: Agresiones directas

Una vez fijado el revestimiento del sensor al suelo una persona procederá a darle patadas con el fin de comprobar que éste no se despega, no se rompe o no se deforma ante posibles actos vandálicos.

Prueba 2: Peso de una persona

Una persona se colocará encima, de manera que el elemento aguante todo su peso, y se comprobará que éste no se rompe o se deforma.

Prueba 3: Peso de una moto

Se aparcará encima una moto, de manera que una de las ruedas quede sobre el dispositivo, y se comprobará que éste no se rompe o se deforma.

Prueba 4: Peso de un coche

Se aparcará encima un coche, de manera que una de las ruedas quede sobre el dispositivo, y se comprobará que éste no se rompe o se deforma.

Prueba 5: Coche maniobrando sobre el sensor

Para esta prueba un coche procederá a hacer maniobras sobre la carcasa de manera que coincida un giro sobre el mismo, comprobando que éste no se desplace de su posición o se rompa debido a la fuerza tangencial aplicada.

Prueba 6: Vehículo más pesado que un coche

Se aparcará encima un vehículo más pesado que un coche, como puede ser una furgoneta, de manera que una de las ruedas quede sobre el dispositivo, y se comprobará que éste no se rompe o se deforma.

Prueba 7: Vehículo maniobrando sobre el sensor

Un vehículo más pesado que un coche procederá a hacer maniobras sobre la carcasa de manera que coincida un giro sobre el mismo, comprobando que éste no se desplace de su posición o se rompa debido a la fuerza tangencial aplicada.

Prueba 8: Intento de rotura

Esta prueba consistirá en agresiones directas sobre el sensor mediante el uso de alguna herramienta, como puede ser un martillo, con el fin de intentar romperlo y poder determinar experimentalmente la fuerza a aplicar necesaria para lograr este propósito.

4.4.- Algoritmo para la detección de vehículos

Una vez recogidos todos los datos de las diferentes pruebas que se han llevado a cabo se procede a encontrar un algoritmo automatizado que detecte la presencia del vehículo.

4.4.1.- Obtención del umbral

Para los cálculos que se van a realizar a continuación se utilizan las medidas recogidas de una muestra de 50 coches durante la fase de pruebas para la obtención del umbral.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1) Restar los valores de las componentes x, y, z en cada punto a las correspondientes al campo magnético en ese mismo lugar en ausencia de coches, es decir, el terrestre (vacío).

| | X | Y | Z | Variación | | |
|----|-------|-------|-------|-----------|-----|-----|
| | Vacío | 26.0 | -11.0 | -48.0 | X | Y |
| 1 | 32.0 | -10.5 | -52.0 | 6.0 | 0.5 | 4.0 |
| 2 | 29.5 | -13.0 | -43.0 | 3.5 | 2.0 | 5.0 |
| 3 | 32.0 | -12.5 | -52.0 | 6.0 | 1.5 | 4.0 |
| 4 | 32.0 | -17.0 | -43.0 | 6.0 | 6.0 | 5.0 |
| 5 | 35.5 | -16.0 | -46.5 | 9.5 | 5.0 | 1.5 |
| 6 | 30.5 | -16.0 | -49.0 | 4.5 | 5.0 | 1.0 |
| 7 | 30.0 | -10.0 | -44.0 | 4.0 | 1.0 | 4.0 |
| 8 | 33.5 | -10.0 | -51.0 | 7.5 | 1.0 | 3.0 |
| 9 | 32.5 | -16.5 | -45.5 | 6.5 | 5.5 | 2.5 |
| 10 | 33.5 | -16.5 | -45.0 | 7.5 | 5.5 | 3.0 |

Figura 4.52.- Obtención del umbral.

- 2) Hacer una media de todos los coches de esa variación a cada componente por separado. Esta media puede ser normal o acotada, si es acotada se eliminarán los valores extremos.

En la Figura 4.53 se muestra la media de cada columna y debajo la desviación estándar correspondiente. También la media acotada con un 10% y el umbral sacado mediante las ecuaciones anteriores.

| | | | | |
|---------------|------|------|------|------------|
| Media | 7.02 | 4.82 | 4.34 | |
| ± | 5.11 | 4.94 | 3.18 | |
| | | | | Porcentaje |
| Media acotada | 6.73 | 4.32 | 4.24 | 0.1 |

Figura 4.53.- Media de variación del campo de 50 coches. Unidades en μT .

Acotando la media se acotará también el umbral, que será más pequeño, y por tanto podrá dar lugar a falsos positivos. Por el contrario, aumentando el valor de esta media aumentará el valor del umbral, lo que puede generar falsos negativos.

3) A continuación, se expondrá de una manera visual cómo se calcula el valor umbral.

a) Se representan en una gráfica los valores que se han tomado debajo de un coche, a lo largo de su eje longitudinal, cada 40 cm aproximadamente.

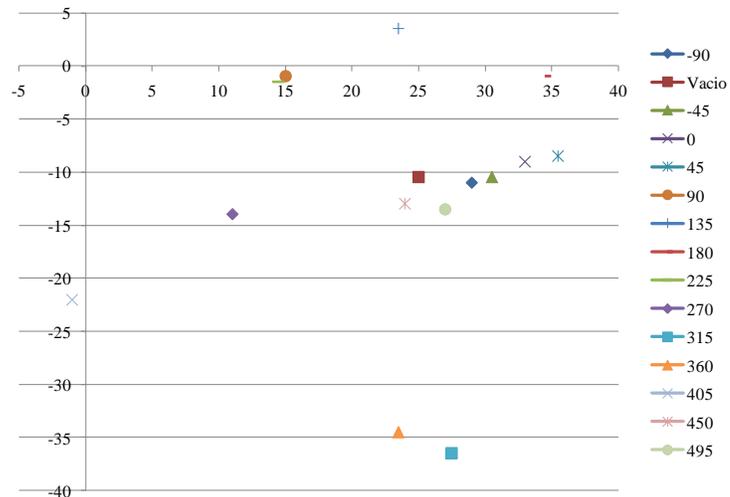


Figura 4.54.- Medidas debajo de un coche. Unidades en μT .

b) A continuación, se dibuja la circunferencia de radio el umbral, alrededor del punto llamado “vacío”, es decir el valor no alterado.

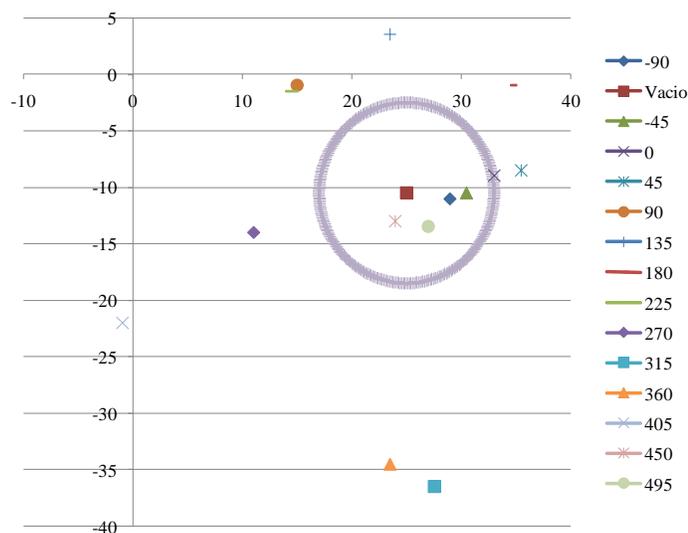


Figura 4.55.- Representación gráfica del umbral. Unidades en μT .

- c) Todos los puntos que están dentro de la circunferencia se consideran no alterados por el vehículo, por estar suficientemente cerca del “vacío”, por lo que los restantes serán los puntos que en teoría representan el coche, al estar lo suficientemente alterados por él.

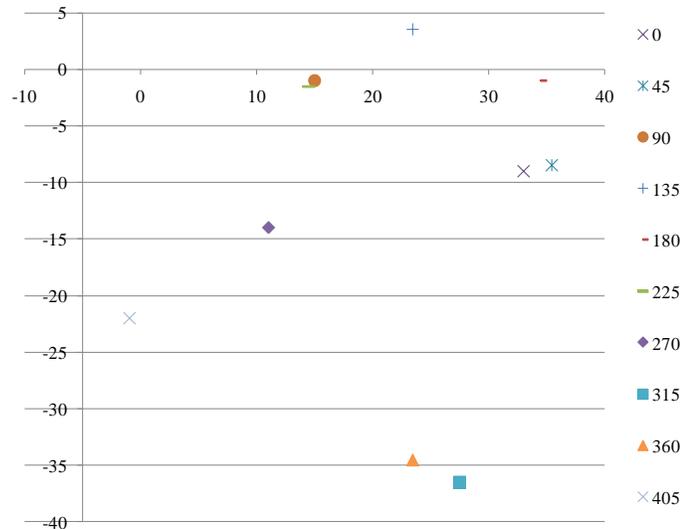


Figura 4.56.- Medidas alteradas por el vehículo.

- 4) Por lo tanto, la media obtenida en el apartado 3) a la que se llamará (x_m, y_m, z_m) se utilizará para sacar el umbral mediante la ecuación de una circunferencia:

$$x_m^2 + y_m^2 = r_{xy}^2 \quad (4.4)$$

Como se tienen tres componentes se hará lo mismo para las restantes:

$$x_m^2 + z_m^2 = r_{xz}^2 \quad (4.5)$$

$$y_m^2 + z_m^2 = r_{yz}^2 \quad (4.6)$$

El umbral se corresponde con el radio de cada ecuación. Lo que esto representa, es que todos los valores que se encuentren dentro de la circunferencia de ese radio se

considerarán valores no alterados por el coche, es decir negativos, como se mostró en las imágenes del apartado anterior.

En realidad, el centro de esa circunferencia es el valor inicial del campo magnético terrestre en ausencia de coches, ya que la ecuación de una circunferencia que no tiene el radio en el origen es:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2 \quad (4.7)$$

Siendo x_0 e y_0 , las coordenadas del centro, que en este caso ya se habían restado en el apartado 2).

5) La forma de implementar las ecuaciones es la siguiente:

Si para un valor se cumple que $x^2 + y^2 \leq r_{xy}^2$ se asignará un 0 a la casilla correspondiente, y si no se cumple un 1, y lo mismo para las otras dos ecuaciones.

| Coef. de corrección | 1 | | 8.0 | 8.0 | 6.0 |
|---------------------|-------|------|-------------------------------------|-----|-----|
| Variación | | | | | |
| X | Y | Z | XY | XZ | YZ |
| 4 | -0.5 | 0 | =SI(((F5^2)+(G5^2))<(\$J\$1^2);0;1) | | 0 |
| 5.5 | 0 | -2.5 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 1.5 | -11 | 1 | 1 | 1 |
| 10.5 | 2 | -2.5 | 1 | 1 | 0 |
| -10 | 9.5 | -8 | 1 | 1 | 1 |
| -1.5 | 14 | -3.5 | 1 | 0 | 1 |
| 9.5 | 9.5 | -15 | 1 | 1 | 1 |
| -10.5 | 9 | -10 | 1 | 1 | 1 |
| -14 | -3.5 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2.5 | -26 | 13 | 1 | 1 | 1 |
| -1.5 | -24 | -49 | 1 | 1 | 1 |
| -26 | -11.5 | -20 | 1 | 1 | 1 |
| -1 | -2.5 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | -3 | 1.5 | 0 | 0 | 0 |

Figura 4.57.- Cálculo del umbral 1.

6) Se aplica una nueva ecuación, en este caso la de la esfera:

$$x^2 + y^2 + z^2 \leq r_{xyz}^2 \tag{4.8}$$

El umbral o radio r sacado para la esfera será la media de los umbrales ya obtenidos para las otras 3 combinaciones de ejes:

$$r_{xyz}^2 = \frac{r_{xy}^2 + r_{xz}^2 + r_{yz}^2}{3} \tag{4.9}$$

7) De nuevo, si se cumple esta ecuación se asignará un 0, y en caso de no cumplirse un 1. De esta manera se tiene una ecuación para cada combinación de 2 ejes y 1 para la combinación de los 3.

| Coef. de corrección | | | 1 | 8.0 | 8.0 | 6.0 | 7.3 | |
|---------------------|-------|------|----|-----|-----|-----|--|----|
| Variación | | | | | | | | |
| X | Y | Z | XY | XZ | YZ | XYZ | | |
| 4 | -0.5 | 0 | 0 | | | | =SI(((F5^2)+(G5^2)+(H5^2))<(\$M\$1^2);0;1) | |
| 5.5 | 0 | -2.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | | NO |
| 8 | 1.5 | -11 | 1 | 1 | 1 | 1 | | SI |
| 10.5 | 2 | -2.5 | 1 | 1 | 0 | 1 | | SI |
| -10 | 9.5 | -8 | 1 | 1 | 1 | 1 | | SI |
| -1.5 | 14 | -3.5 | 1 | 0 | 1 | 1 | | SI |
| 9.5 | 9.5 | -15 | 1 | 1 | 1 | 1 | | SI |
| -10.5 | 9 | -10 | 1 | 1 | 1 | 1 | | SI |
| -14 | -3.5 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | | SI |
| 2.5 | -26 | 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | | SI |
| -1.5 | -24 | -49 | 1 | 1 | 1 | 1 | | SI |
| -26 | -11.5 | -20 | 1 | 1 | 1 | 1 | | SI |
| -1 | -2.5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | | NO |
| 2 | -3 | 1.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | | NO |

Figura 4.58.- Cálculo del umbral 2.

- 8) Finalmente se sumarán los 4 resultados de las ecuaciones (los 1 y los 0) de manera que, si la suma es mayor o igual a 2 se tiene un positivo, es decir, el campo magnético está alterado por el coche en ese punto.

| XY | XZ | YZ | XYZ | |
|----|----|----|-----|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | NO |
| 0 | 0 | 0 | 0 | NO |
| 1 | 1 | 1 | 1 | SI |
| 1 | 1 | 0 | 1 | SI |
| 1 | 1 | 1 | 1 | SI |
| 1 | 0 | 1 | 1 | SI |
| 1 | 1 | 1 | 1 | SI |
| 1 | 1 | 1 | 1 | SI |
| 1 | 1 | 0 | 1 | SI |
| 1 | 1 | 1 | 1 | SI |
| 1 | 1 | 1 | 1 | SI |
| 1 | 1 | 1 | 1 | SI |
| 0 | 0 | 0 | 0 | NO |
| 0 | 0 | 0 | 0 | NO |

Figura 4.59. Vehículo detectado mediante algoritmo.

La suma puede ser ≥ 3 en función de lo restrictiva que se quiera que sea la fórmula.

4.5.- Node – RED

Una vez instalada la herramienta de Node-RED la forma de ejecutarla es mediante el símbolo del sistema, ya que se accede a ella a través del servidor en el localhost, en la dirección IP 127.0.0.1:1800.

```
node-red
Microsoft Windows [Versión 10.0.17134.706]
(c) 2018 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\1>node-red
12 Apr 10:55:49 - [info]

Welcome to Node-RED
=====

12 Apr 10:55:49 - [info] Node-RED version: v0.19.5
12 Apr 10:55:49 - [info] Node.js version: v10.15.1
12 Apr 10:55:49 - [info] Windows_NT 10.0.17134 x64 LE
12 Apr 10:55:50 - [info] Loading palette nodes
12 Apr 10:55:53 - [warn] rpi-gpio : Raspberry Pi specific node set inactive
12 Apr 10:55:53 - [info] Dashboard version 2.13.2 started at /ui
12 Apr 10:55:53 - [warn] -----
12 Apr 10:55:53 - [warn] [node-red/tail] Not currently supported on Windows.
12 Apr 10:55:53 - [warn] -----
12 Apr 10:55:53 - [info] Settings file : \Users\1\.node-red\settings.js
12 Apr 10:55:53 - [info] Context store : 'default' [module=memory]
12 Apr 10:55:53 - [info] User directory : \Users\1\.node-red
12 Apr 10:55:53 - [warn] Projects disabled : editorTheme.projects.enabled=false
12 Apr 10:55:53 - [info] Flows file : \Users\1\.node-red\flows_DESKTOP-VQNOTG3.json
12 Apr 10:55:53 - [warn]

-----
Your flow credentials file is encrypted using a system-generated key.
```

Figura 4.60.- Ejecución de Node-RED.

En dicha dirección aparece entonces un entorno de trabajo y desarrollo que permite crear flujos de eventos e interconectarlos todos ellos.

El primer paso será añadir un nodo *inject* que identifique cada magnetómetro instalado. Dentro del *inject* se pueden editar las propiedades de dicho nodo. En este caso se especificará un nodo de tipo *string* como muestra la Figura 4.61.

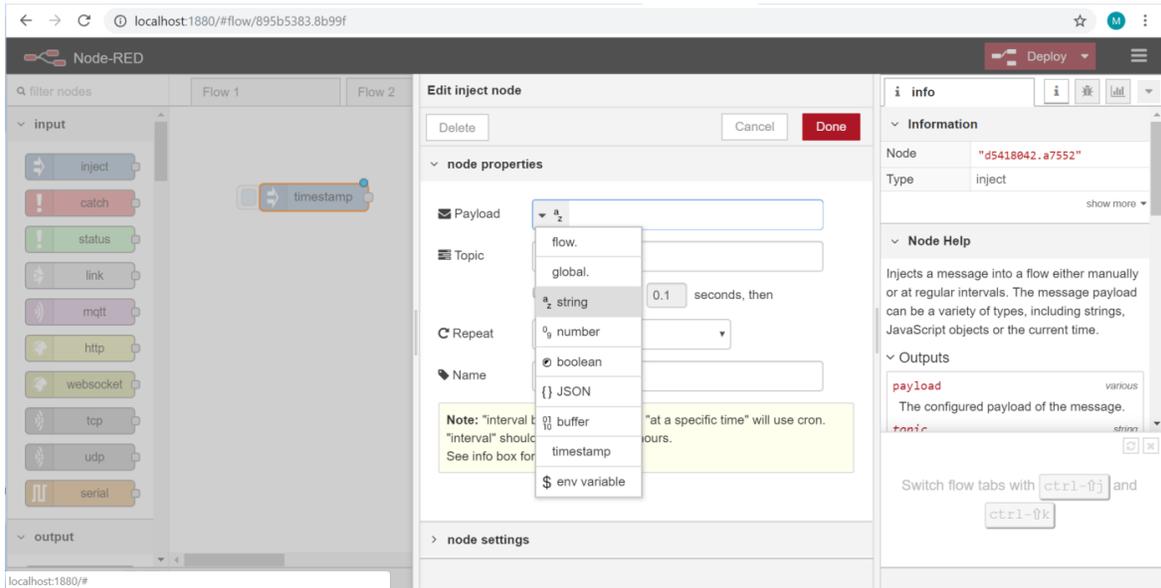


Figura 4.61.- Propiedades del nodo *inject*.

A continuación, se añade un nodo *function* y se escribe el programa que se muestra en la Figura 4.62, donde se especifican la latitud y longitud geográficas en las que se encuentra el magnetómetro.

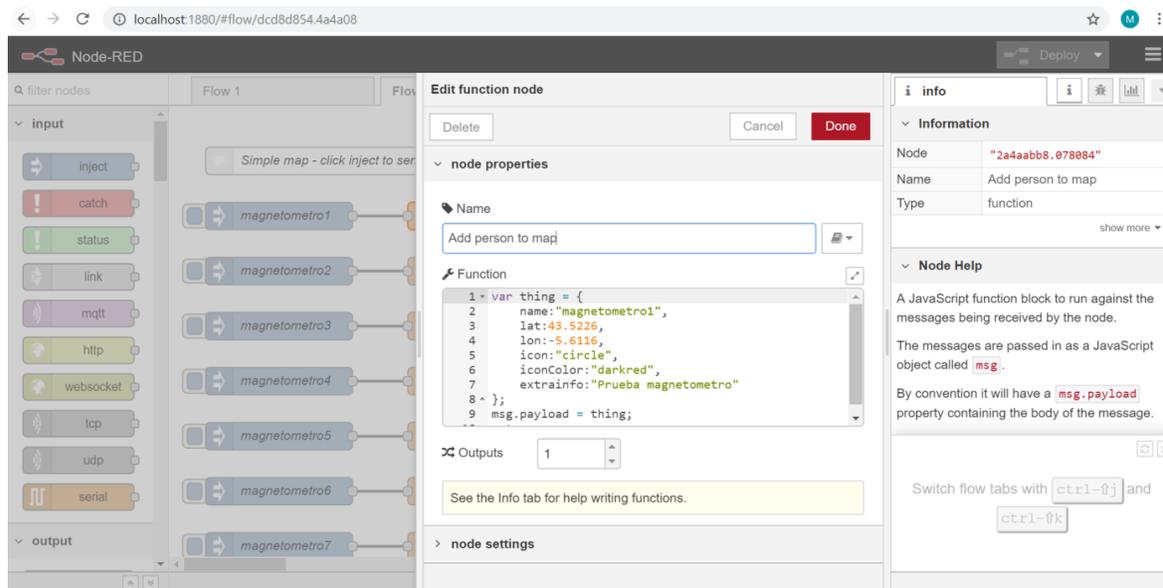


Figura 4.62.- Propiedades del nodo *function*.

Finalmente el nodo *function* se une a su vez a un nodo *worldmap*, que previamente ha de ser instalado y cuya función es mostrar una página wrb con un mapa donde se pueden añadir elementos. En este caso mostrará cada magnetómetro en las coordenadas especificadas.

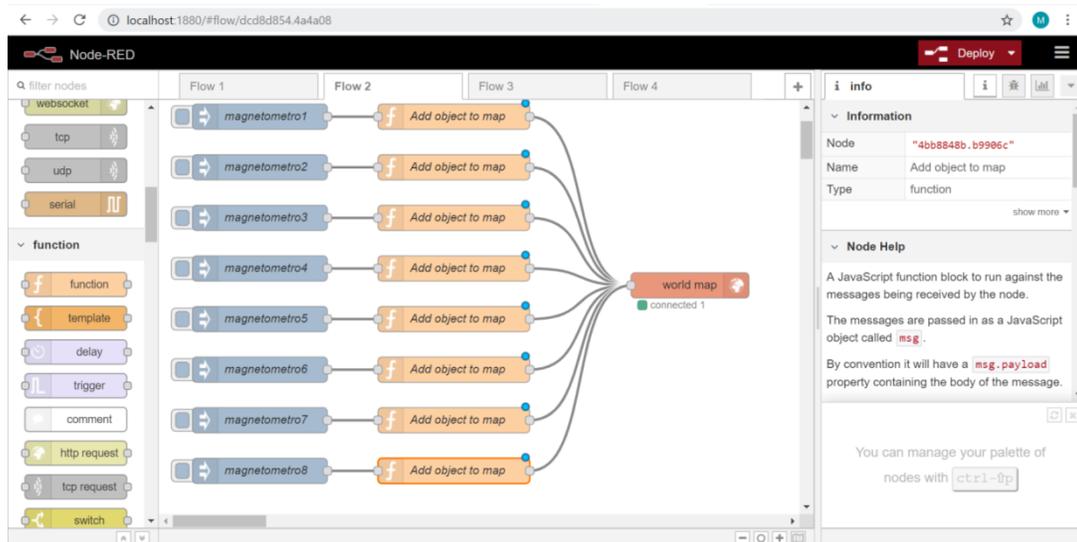


Figura 4.63.- Nodo *worldmap*.

Este nodo también puede configurarse de manera que se abra por defecto en unas coordenadas específicas y con el zoom deseado, como se muestra en la Figura 4.64.

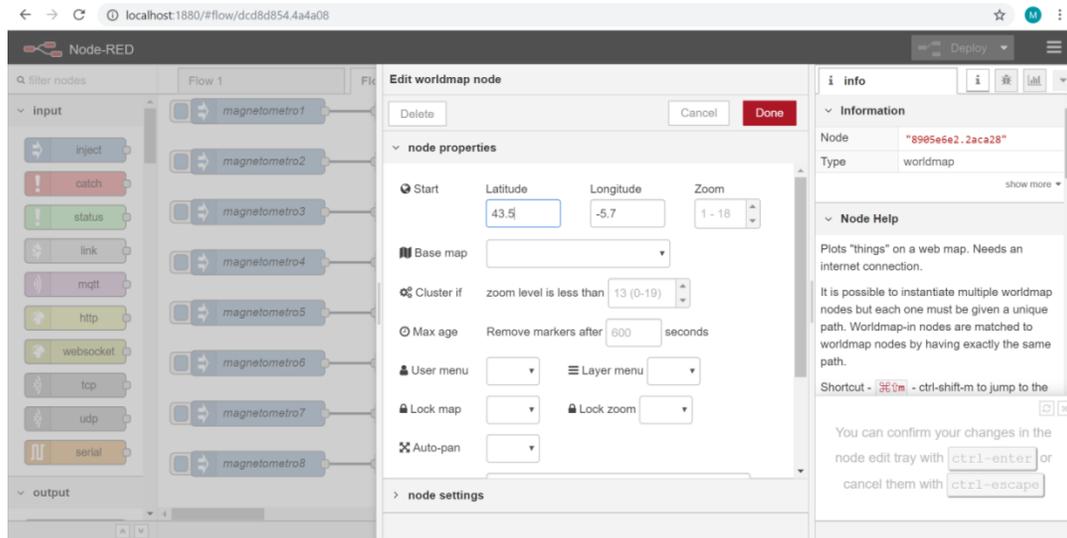


Figura 4.64.- Propiedades el nodo *worldmap*.

Una vez finalizado se da a *deploy* y se accede al mapa. Las Figura 4.65 y Figura 4.66 muestran 8 magnetómetros una vez han especificados en el mapa.

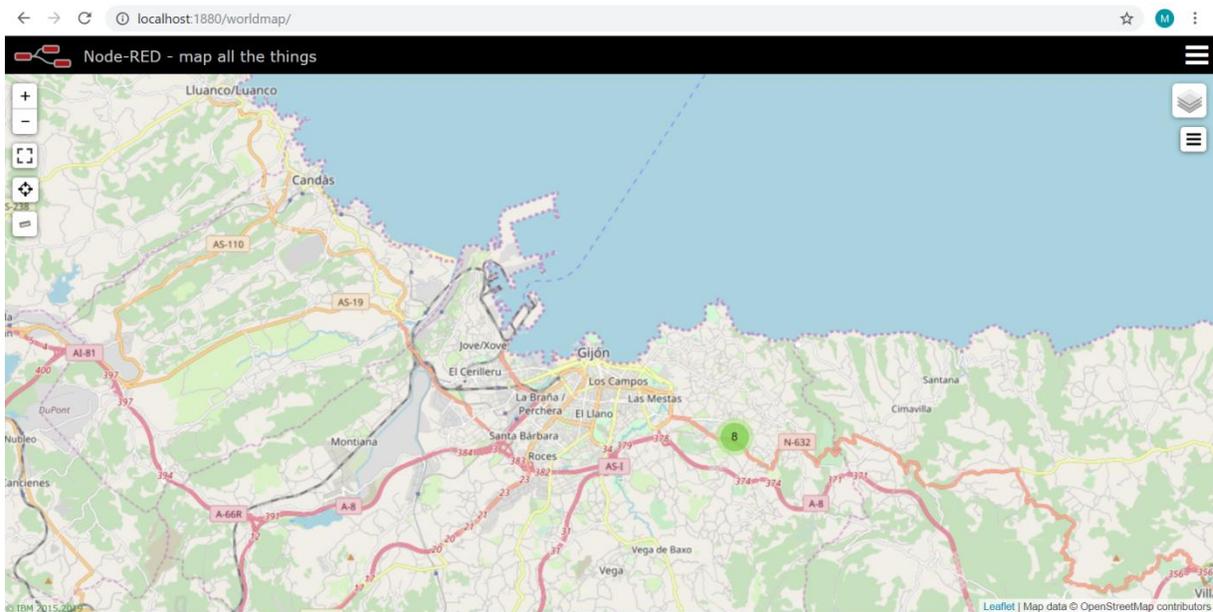


Figura 4.65.- Magnetómetros en el mapa.

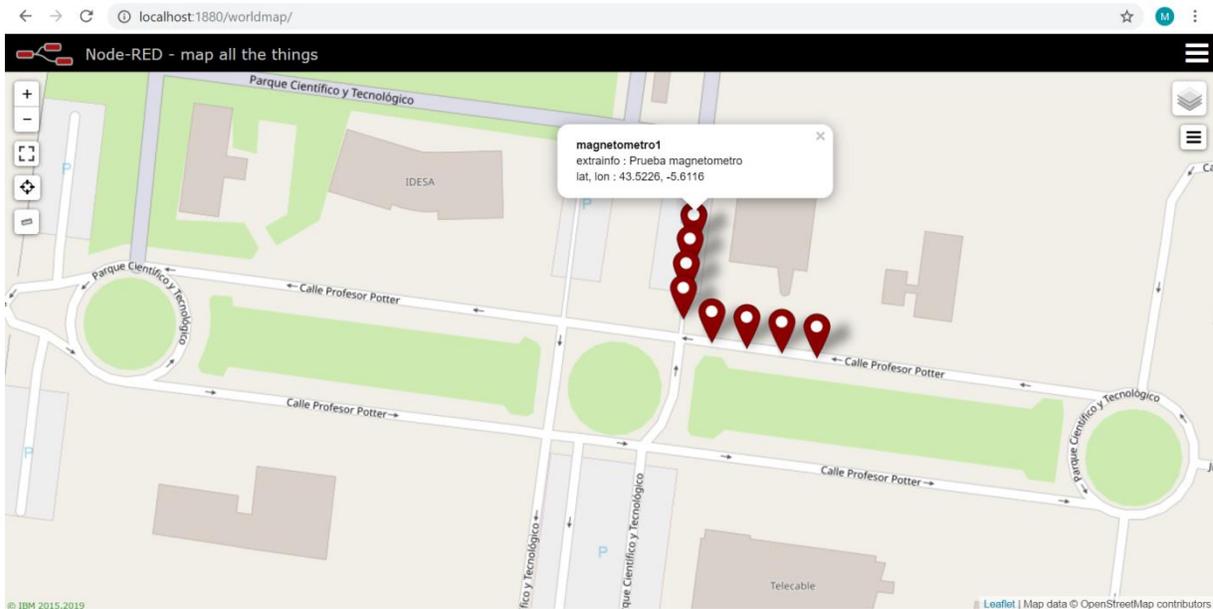


Figura 4.66.- Magnetómetros en el mapa con zoom.

Node-RED también dispone de un *dashboard* en el que se pueden mostrar distintos elementos de visualización como gráficas, indicadores, etc. que pueden conectarse a las entradas de los puertos de manera que muestren por ejemplo la lectura del magnetómetro. Las Figura 4.67.-Modelo para *dashboard*. y Figura 4.68- *Dashboard*. muestran un ejemplo de ello.

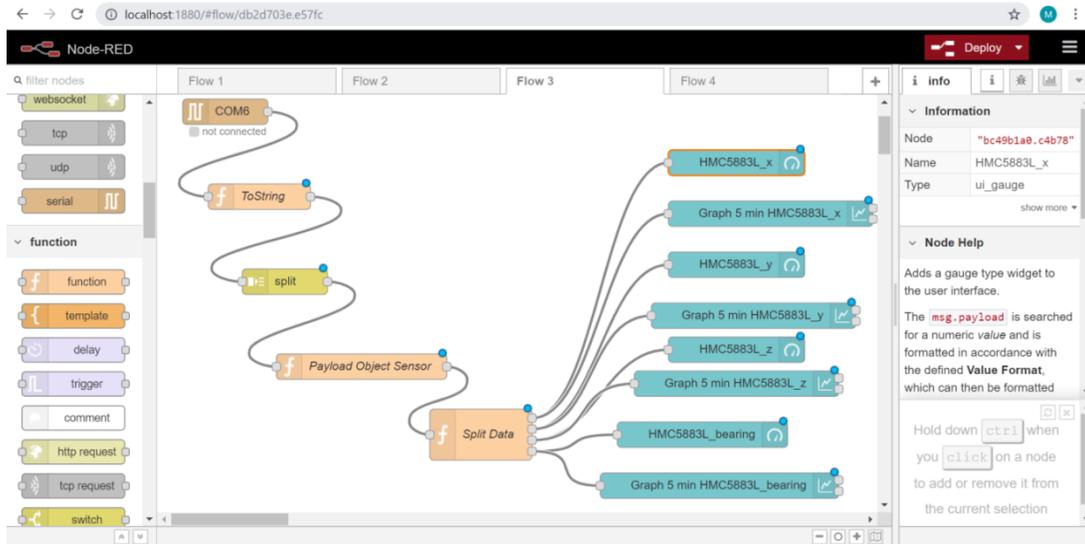


Figura 4.67.-Modelo para *dashboard*.



Figura 4.68- *Dashboard*.

5.- PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

5.1.- Cronograma

| Fases de trabajo | TAREA | 2018 | | 2019 | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|------|---|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | | N | D | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | | |
| F1 | Definición de requerimientos funcionales y no funcionales, requerimientos del pod, requerimientos del sistema y especificación de la interfaz. | X | | | | | | | | | | | | | |
| | Análisis de la información obtenida en el punto anterior y validación de tecnologías propuestas. | | X | | | | | | | | | | | | |
| | Modelado del flujo de datos; que permita documentar el resultado del análisis del sistema y ofrezca un esquema general de funcionamiento de la solución propuesta | X | X | | | | | | | | | | | | |
| F2 | Selección y adquisición de componentes. | | X | | | | | | | | | | | | |
| | Instalación de sensores y validación del flujo de datos. | | | X | | | | | | | | | | | |
| | Pruebas iniciales en entorno controlado | | | | X | X | | | | | | | | | |
| | Generación de matriz de situaciones | | | | | | X | | | | | | | | |
| | Pruebas en entorno real | | | | | | | X | X | | | | | | |
| F3 | Diseño básico de la herramienta | X | | X | | X | | | | | | | | | |
| | Desarrollo de módulos con funcionalidades específicas | | | | | | X | X | X | | | | | | |
| | Pruebas de funcionamiento con datos reales | | | | | | | | | | X | X | | | |
| | Validación del resultado generado | | | | | | | | | | | | X | X | |

5.2.- Gastos de personal

| Cargo / Puesto en la organización | Año 1 | | | Año 2 | | | TOTAL |
|-----------------------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| | Dedicación (horas) | Coste hora (€/h) | Coste directo | Dedicación (horas) | Coste hora (€/h) | Coste directo | |
| Gerente | 71 | 14,00 € | 995,27 € | 331 | 14,00 € | 4.632,73 € | 5.628,00 € |
| Director Técnico | 172 | 14,00 € | 2.411,82 € | 523 | 14,00 € | 7.318,18 € | 9.730,00 € |
| Técnico SIG | 197 | 10,82 € | 2.134,49 € | 773 | 11,20 € | 8.654,55 € | 10.789,04 € |
| Ingeniera topografía | 62 | 11,20 € | 697,45 € | 223 | 11,75 € | 2.617,05 € | 3.314,50 € |
| Técnico SIG | 188 | 10,37 € | 1.951,45 € | 682 | 11,00 € | 7.500,00 € | 9.451,45 € |
| Técnico Electrónica | | | 0,00 € | 1.650 | 6,06 € | 9.999,00 € | 9.999,00 € |
| | 691 | | 8.190,48 € | 4.181 | | 40.721,50 € | 48.911,98 € |

5.3.- Gastos de aprovisionamiento

| Concepto | Distribución | | Coste imputable al proyecto |
|--|--------------|------------|-----------------------------|
| | Año 1 | Año 2 | |
| Elementos y consumibles para construcción de prototipo | | 4.450,00 € | 4.450,00 € |
| | 0,00 € | 4.450,00 € | 4.450,00 € |

5.4.- Costes externos

| Empresa o Entidad subcontratada | Actuaciones a desarrollar | Distribución | | Coste imputable al proyecto |
|---------------------------------|---|--------------|------------|-----------------------------|
| | | Año 1 | Año 2 | |
| Informático externo | Asistencia técnica en programación de redes | | 9.500,00 € | 9.500,00 € |
| | | 0,00 € | 9.500,00 € | 9.500,00 € |

5.5.- Costes indirectos

| Concepto | Distribución | | Coste imputable al proyecto |
|--|-----------------|-------------------|-----------------------------|
| | Año 1 | Año 2 | |
| Cánones y Arrendamientos | 325,00 € | 1.625,00 € | 1.950,00 € |
| Reparaciones y Conservación | | | 0,00 € |
| Suministros | 55,00 € | 275,00 € | 330,00 € |
| Otros servicios: limpieza, seguridad y material de oficina exclusivamente. | 75,00 € | 375,00 € | 450,00 € |
| | 455,00 € | 2.275,00 € | 2.730,00 € |

5.6.- Costes de gestión

| COSTES DIRECTOS DE PERSONAL | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Cargo | Año 1 | | | Año 2 | | | TOTAL |
| | Dedicación (horas) | Coste hora (€/h) | Coste directo | Dedicación (horas) | Coste hora (€/h) | Coste directo | |
| Gerente | 90 | 14,00 | 1.260,00 € | 300 | 14,00 € | 4.200,00 € | 5.460,00 € |
| | 90,00 € | | 1.260,00 € | 300,00 € | | 4.200,00 € | 5.460,00 € |

5.7.- Resumen presupuesto

| Concepto | Gastos elegibles | | |
|---------------------------------------|------------------|-------------|--------------------|
| | Año 1 | Año 2 | Total |
| 1. Personal | 8.190,48 € | 40.721,50 € | 48.911,98 € |
| 2. Material inventariable | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| 3. Gastos de aprovisionamiento | 0,00 € | 4.450,00 € | 4.450,00 € |
| 4. Costes externos | 0,00 € | 9.500,00 € | 9.500,00 € |
| 5. Costes indirectos | 455,00 € | 2.275,00 € | 2.730,00 € |
| 6. Otros gastos generales | 0,00 € | 0,00 € | 0,00 € |
| 7. Costes de Gestión | 1.260,00 € | 4.200,00 € | 5.460,00 € |
| 8. Beneficio industrial (8%) | | | 5.684,16 € |
| 9. IVA (21%) | | | 16.114,59 € |
| Total | | | 92.850,73 € |

6.- CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Dado que el proyecto aún se encuentra en fase de desarrollo es pronto para poder evaluar si cumple con los requisitos especificados. Por el momento, en esta primera etapa, se ha conseguido desarrollar un prototipo de sensor funcional que detecta los vehículos con un margen de error de unos 30 cm, lo cual es bastante aceptable y aún tiene posibilidad de mejora.

Las siguientes fases del proyecto se centrarán en la mejora de este prototipo, así como su implementación en la red 6LoWPAN del ayuntamiento y posterior recogida de datos para su análisis. El desarrollo de la herramienta SIG será también una parte importante del proyecto. Una vez recogidos los datos se presentará un informe dando respuesta a las preguntas planteadas en el apartado 1.3 de la presente memoria.

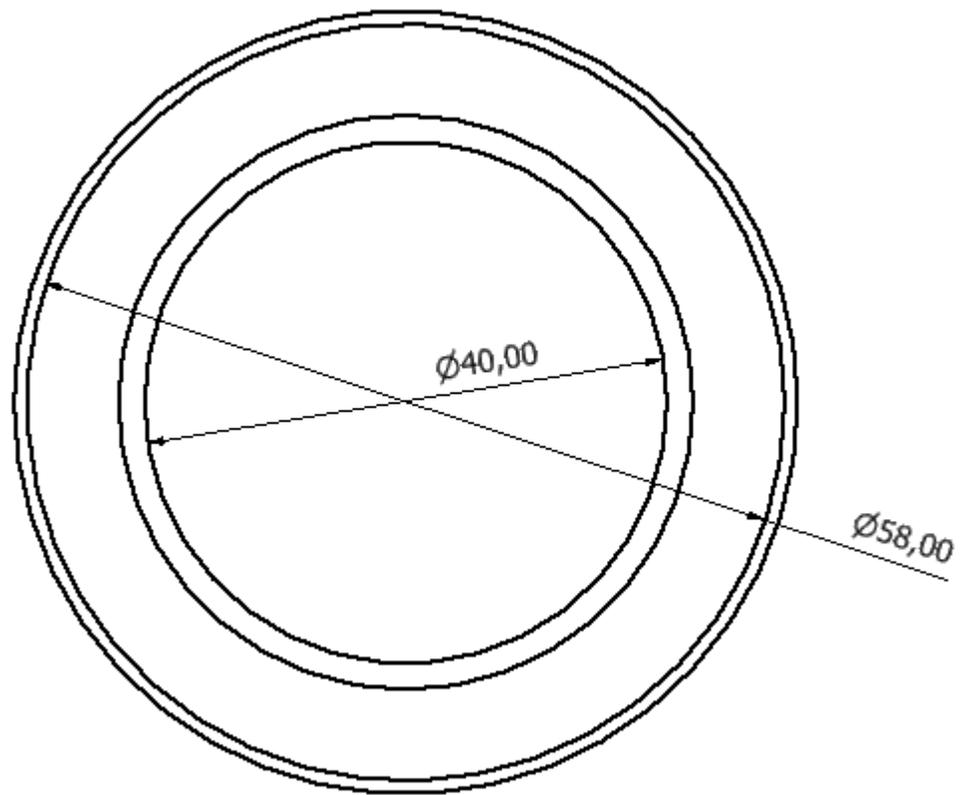
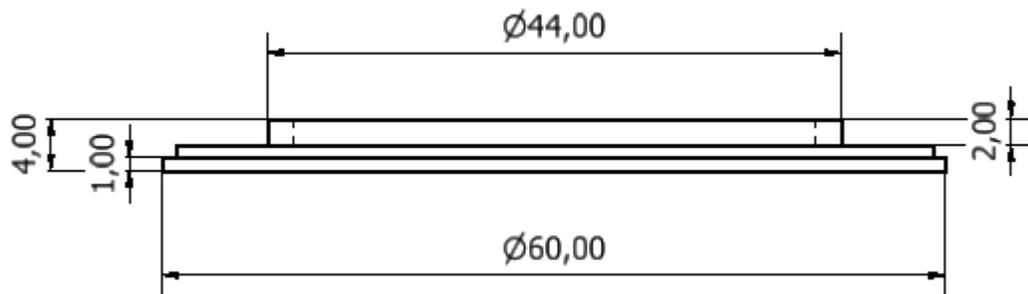
En caso de que el proyecto finalmente tenga el éxito esperado se procederá a su comercialización, ya sea ésta directa: dirigida a clientes de naturaleza pública y privada; o indirecta: a través de la publicación en medios de naturaleza masiva con una participación menos personal y directa que en la fase anterior, incluyendo el uso de la página web, publicaciones especializadas, presentaciones, etc.

7.- BIBLIOGRAFÍA

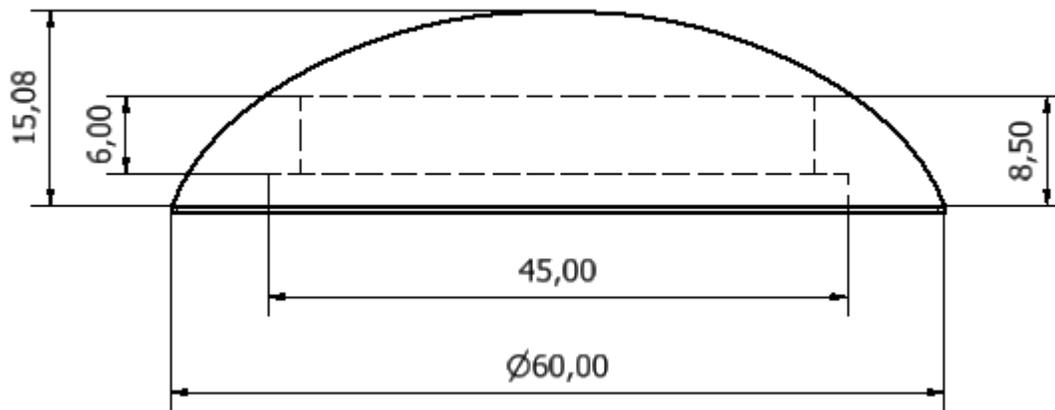
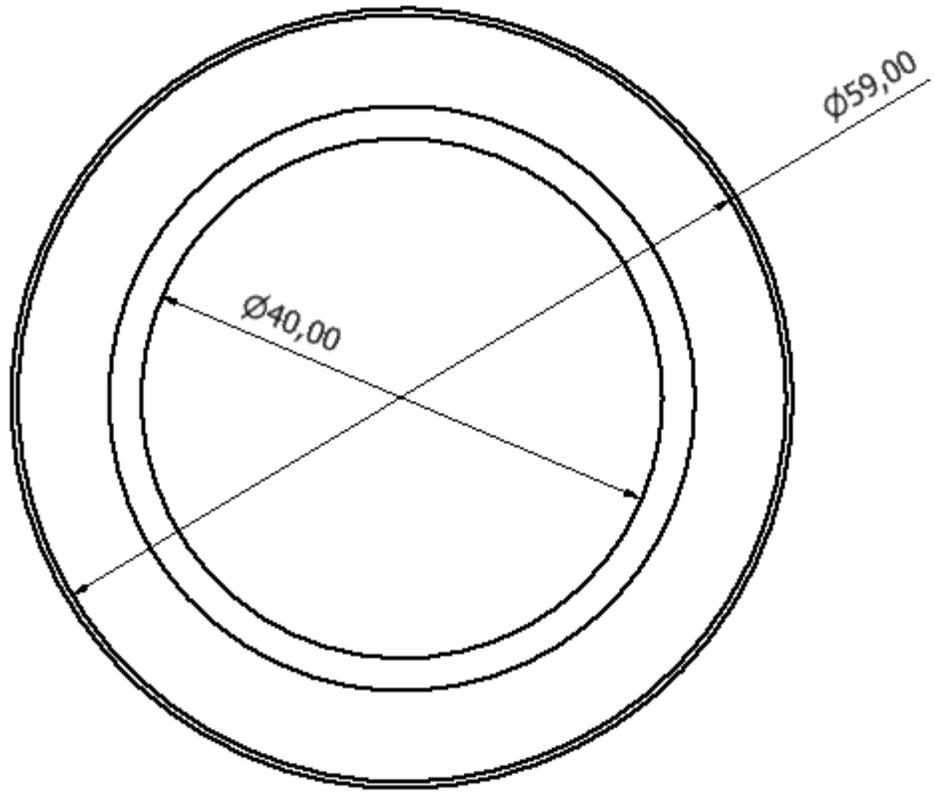
- [1] A. Daubaras, M. Zilys, “Vehicle detection based on magneto-resistive magnetic field sensor”, *Elektronika ir Elektrotechnika*, 2012, no. 2, pp. 27-32.
- [2] M.J. Caruso, T. Bratland, C.H. Smith, R. Schneider, “A New Perspective on Magnetic Field Sensing”, *Sensors*, 1998, pp. 34-46.
- [3] P.R. Almeida, L.S. Oliveira, A.S. Britto, E.J. Silva, A.L. Koerich, “PKLot – a robust dataset for parking lot classification”, *Expert Systems with Applications*, 2015, vol. 42 (11), pp. 4937-4949,
- [4] L. E. Mimbela and L. A. Klein, “A Summary of vehicle detection and surveillance technologies used in intelligent transportation systems, Handbook,” U.S. Federal Highway Administration, Intelligent Transportation System, 2000.
- [5] S. V. Srikanth, Pramod P. J, Dileep K. P, Tapas S, Mahesh U. Patil, Sarat Chandra Babu N, “Design and Implementation of a prototype Smart PARKing (SPARK) System using Wireless Sensor Networks”, *International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, 2009.
- [6] A. Daubaras, V. Markevicius, D. Navikas, M. Cepenas M. Zilys, D. Andriukaitis, “Vehicle influence on the Earth's magnetic field changes”, *Elektronika ir Elektrotechnika*, 2014, no. 4, pp. 27-32.
- [7] Shang Guan Wei, Wang Jian, Cai Bai-gen, Yin Qin, “An novel vehicle detection method based on wireless magneto-resistive sensor”, *Third Int. Symposium on Intelligent Information Technology Application*, 2009, pp. 484-487.
- [8] V. Markevicius, D. Navikas, M. Zilys, D. Andriukaitis, A. Valinevicius, M. Cepenas, “Dynamic Vehicle Detection via the Use of Magnetic Field Sensors”, *Sensors*, 2016.

-
- [9] Lee, S., D. Yoon and A. Ghosh, “Intelligent parking lot application using wireless sensor networks”, *International Symposium on Collaborative Technologies and Systems*, 2008, pp.48-57.
- [10] S-Y. Cheung, S. Coleri, B. Dunder, S. Ganesh, C-W. Tan, P. Varaiya “Traffic measurement and vehicle classification with a single magnetic sensor”, *84th TRB Annual Meeting*, Washington, D.C. 2005.
- [11] A. E. Sifuentes, O. Casas, R. Pallas-Areny, “Wireless magnetic sensor node for vehicle detection with optical wake-up,” *IEEE Sensors J.*, 2011, vol. 11, pp. 1669–1676.
- [12] Daubaras, A.; Markevicius, V.; Navikas, D.; Zilyys, M. “Analysis of magnetic field disturbance curve for vehicle presence detection”, *Elektronika ir Elektrotechnika*, 2014, no 5, pp. 80-83.
- [13] G. Revathi, V. R. Sarma Dhulipala, “Smart Parking Systems and Sensors: A Survey”, *IEEE International Conference on Computing, Communication and Applications*, 2012.
- [14] M. Y. I. Idris, Y. Y. Leon, E. M. Tamil, N. M. Noor and Z. Razak, “Car parking system: A review of smart parking system and its technology,” *Information Technology Journal* 8 (2), 2009, pp. 101-113.
- [15] J. Wolff, T. Heuer, H. Gao, M. Weinmann, S. Voit, U. Hartmann, “Parking monitor system based on magnetic field sensors”, *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, 2006, pp. 1275-1279.
- [16] S. V. Marshall, “Vehicle detection using a magnetic field sensor,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 1978, vol. 27, pp. 65-68.
- [17] M. J. Caruso, L. S. Withanawasam, “Vehicle detection and compass applications using AMR magnetic sensors “, *Honeywell Report*, 2007, pp. 13.

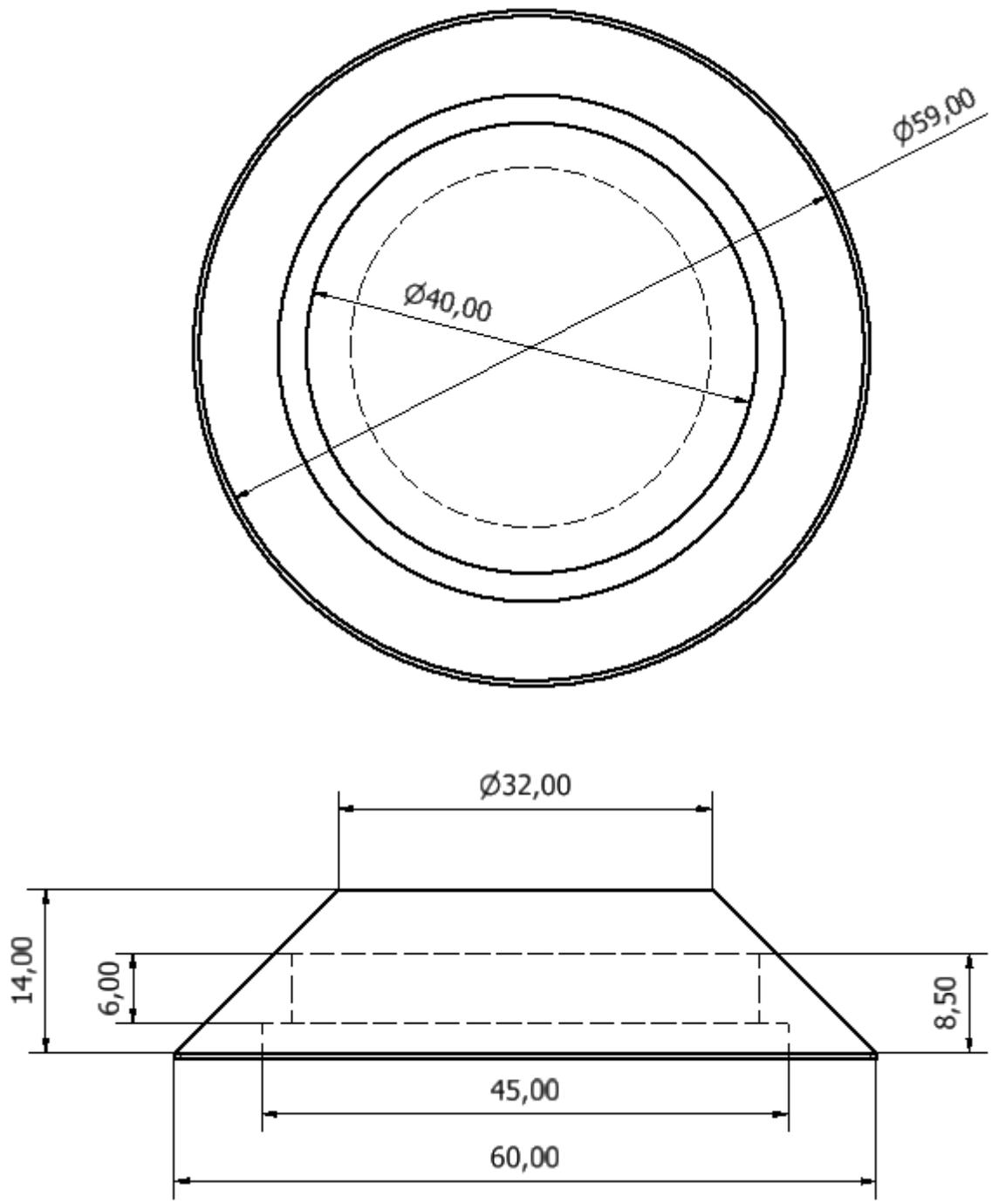
PLANOS



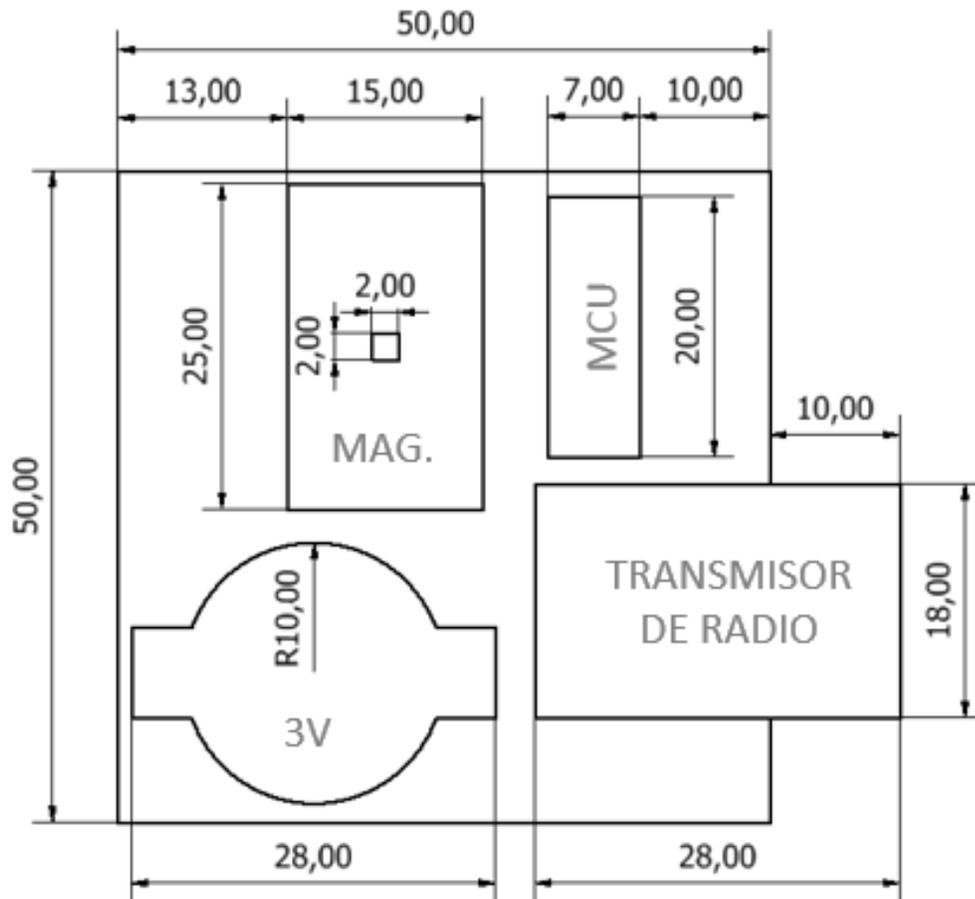
| | Fecha | Nombre | Firma | Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón |
|------------|--------------|-------------|-------|--|
| Diseñado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Dibujado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | | | | |
| S/E | Base Carcasa | | | Plano N° 1 |



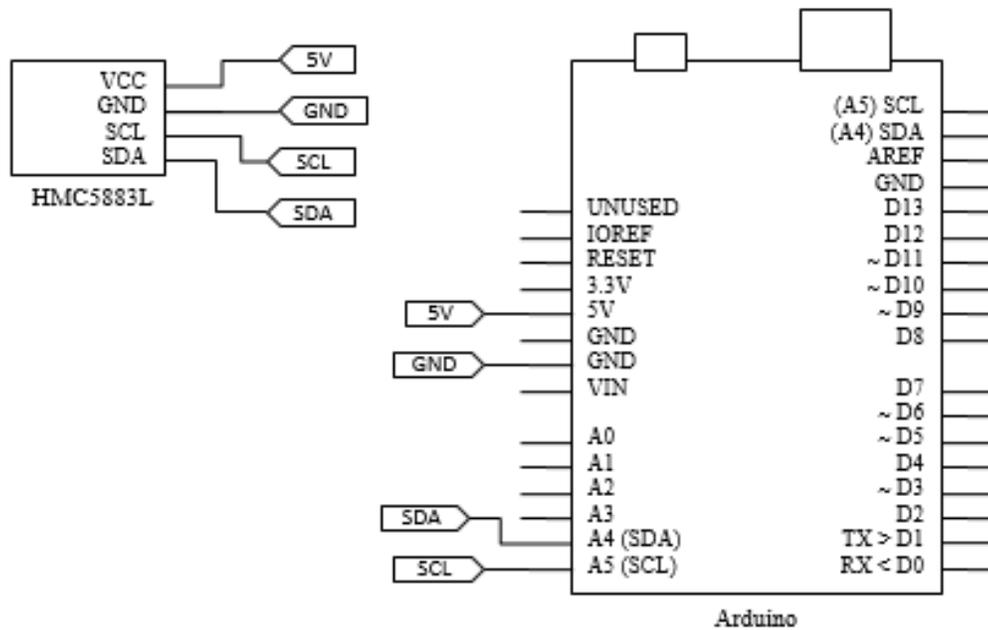
| | Fecha | Nombre | Firma | Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón |
|------------|----------------|-------------|-------|--|
| Diseñado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Dibujado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | | | | |
| S/E | Carcasa Cúpula | | | Plano N° 2 |



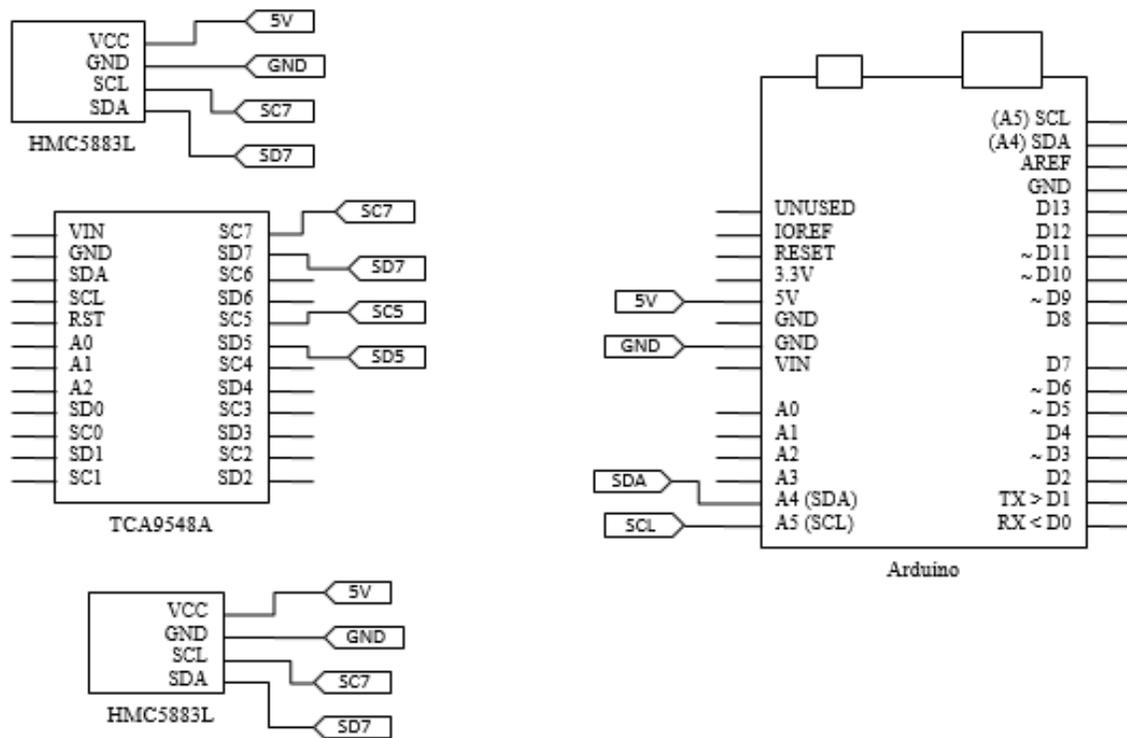
| | Fecha | Nombre | Firma | Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón |
|------------|--------------|-------------|-------|--|
| Diseñado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Dibujado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | | | | |
| S/E | Carcasa Cono | | | Plano N° 3 |



| | Fecha | Nombre | Firma | Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón |
|------------|----------------|-------------|-------|--|
| Diseñado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Dibujado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | | | | |
| S/E | Esquema sensor | | | Plano N° 4 |



| | Fecha | Nombre | Firma | Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón |
|------------|----------------------------------|-------------|-------|--|
| Diseñado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Dibujado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | | | | |
| S/E | Esquema eléctrico 1 magnetómetro | | | Plano N° 5 |



| | Fecha | Nombre | Firma | Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón |
|------------|-----------------------------------|-------------|------------|--|
| Diseñado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Dibujado | 16.04.19 | Maria Hevia | | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Esquema eléctrico 2 magnetómetros | | Plano N° 6 | |
| S/E | | | | |